

VŠB – technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie



Výroba vyhrdlení

T – Drill Collaring Method

Student:

Bc. Bohuslav Moc

Vedoucí diplomové práce:

prof. Dr. Ing. Josef Brychta

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Bohuslav Moc**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Specializace: 20 Strojírenská technologie  
Téma: Výroba vyhrdlení  
T - Drill Collaring Method

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Popis metody vyhrdlení.
2. Přínos a využití navrhovaného řešení.
3. Porovnání současného a upraveného nástroje.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] VASILKO, K.; NOVÁK-MARCINČIN, J.; HAVRILA, M. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov : Datapress Prešov. 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- [2] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [3] HAVRILA, Michal; ZAJAC, Jozef; BRYCHTA, Josef; JURKO, Jozef; *Top trendy v obrábání, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábání, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.

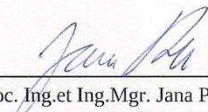
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Dr. Ing. Josef Brychta**


Konzultant diplomové práce: Ing. Jakub Minarčík

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017

  
doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.  
vedoucí katedry

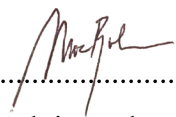


  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ..... 15.5.017 .....

.....  
  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....15.5.2017.....

.....  
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:  
Adresa trvalého pobytu autora:

Bc. Bohuslav Moc  
Strahovice 207, 747 30

## **Anotace**

Bc. MOC, Bohuslav. *Výroba vyhrdlení*. Ostrava: Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, Fakulta strojní VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2017, 61 s. Diplomová práce, vedoucí prof. Dr. Ing. BRYCHTA, Josef.

Diplomová práce se zabývá výrobou vyhrdlení u trubek pomocí metody T-Drill. V úvodu práce bude seznámení s procesem výroby vyhrdlení. Popis využití metody, popis použitého stroje typu S-54 a řezného nástroje. Také jsou uvedeny alternativy výroby k metodě T-Drill. Poté bude porovnáván současný a modifikovaný nástroj při výrobě vyhrdlení. Cílem testů je zjistit, zda nástroj vyrobí vyhrdlení v dostatečné kvalitě a výška vyhrdlení bude dostatečná pro navazující spojení. Tyto testy probíhaly v prostorách firmy Witzenmann Opava spol. s r. o. Na závěr budou zhodnoceny výsledky testů.

## **Annotation**

Bc. MOC, Bohuslav. *T – Drill Collaring Method*. Ostrava: Department of machining and assembly, Faculty of Mechanical engineering VŠB - Technical university of Ostrava 2017, 61 pages. Diploma thesis, head prof. Dr. Ing. BRYCHTA, Josef.

The diploma thesis deals with producing T-Drill collaring method for tubes. In the introduction thesis will be familiar with proces of T-Drill collaring method. Then description use method, description work type machine S-54 and cutting tool. Also will be compared modiflicated tool with current tool in the work proces. The target of this tests, if is possible make collar with corresponding quality for next joint. This tests were in work spaces of company Witzenmann Opava spol. s r. o. In conclusion, results will be compared.

## Obsah

Seznam použitých značek a symbolů.....	8
1 Úvod .....	9
2 Witzenmann Opava spol. s r. o.....	10
2.1 Historie firmy .....	10
3 Použité technologie při výrobě vyhrdlení.....	11
3.1 Vrtání.....	11
3.2 Ohýbání .....	11
3.3 Orbitální svařování.....	12
4 Co je to T-Drill? .....	13
4.1 T-Drill vyhrlovací metoda.....	14
4.2 Výška vyhrdlovacího límce.....	15
5 T-Drill výhody.....	17
5.1 Pevnost .....	17
5.2 Průtok .....	17
5.3 Korozní vlastnosti .....	18
5.4 Ekonomika .....	18
5.5 Umožňuje automatické/orbitální svařování .....	19
5.6 Záruka kvality .....	19
6 Materiály pro výrobu vyhrdlení.....	20
6.1 Nízko uhlíková ocel .....	20
6.2 Korozivzdorná ocel .....	20
6.3 Neželezné materiály .....	20
6.3.1 Měď a slitiny mědi .....	20
6.3.2 Hliník a slitiny hliníku.....	21
6.4 Speciální materiály.....	21
7 Postup výroby vyhrdlení.....	22
8 Řešení pro automotive .....	26
9 Alternativy k T-Drill.....	28
9.1 Fitinky .....	28

9.2	Sedlové napojení .....	29
9.3	Díry .....	30
9.3.1	Vrtané díry .....	31
9.3.2	Děrování děr .....	32
10	Popis stroje a nástroje .....	34
10.1	Vyhrdlovací stroj S-54 .....	34
10.2	Vyhrdlovací hlava .....	35
10.2.1	Rozlišování vyhrdlovacích hlav .....	37
10.2.2	Nastavení vyhrdlovací hlavy .....	38
10.2.3	Broušení vrtáků .....	38
10.2.4	Pokyny pro používání tabulek kapacit .....	40
11	Testování nástroje .....	41
11.1	Použité procesní médium .....	42
11.2	Použité měřidlo .....	43
11.3	Trubky ke zkoušení .....	43
11.3.1	Materiál: X8CrNiTi18-10, 1.4541 .....	44
11.3.2	Materiál: X15CrNiSi20-12, 1.4828 .....	45
11.4	Stroj .....	47
11.5	Nástroj .....	48
12	Vyhodnocení zkoušení .....	49
13	Závěr .....	58
14	Seznam použitých zdrojů .....	60

## Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Název	Jednotka
AISI	norma	[-]
ČSN	norma	[-]
DN	jmenovitá světlost	[mm]
EGR	prvek výfukových systémů	[-]
EN 10095	norma	[-]
HYDRA®	značka nerezových elementů	[-]
JIS	norma	[-]
K0030	kalibrace	[-]
n	otáčky	[min <sup>-1</sup> ]
S-54, T-60, T-110, TEC-150	typ výrobního stroje	[-]
T-Drill	metoda výroby	[-]
TD50	typ oleje Drawlub	[-]
TIG	typ svařovací metody	[-]
C, Si, Mn, P, S, Cr, Ni, Ti, T	chemické prvky	[-]
X8CrNiTi18-10, X15CrNiSi20-12	značení materiálu	[-]
321H, 321, 309, SUH309	značení materiálu	[-]
17 248, 17 251	značení materiálu	[-]
1.4031, 1.4307, 1.4401	druh materiálu	[-]
1.4404, 1.4828, 1.4541	druh materiálu	[-]
Ø	průměr	[mm]



# 1 Úvod

Tématem diplomové práce je výroba vyhrdlení u trubek metodou T-Drill, které se používají např. v automobilovém průmyslu, solárních panelech, klimatizacích nebo v instalatérství. Jde o zproduktivnění výroby větvení trubek. Jedná se o výrobu vyhrdleného límce přímo z průběžné trubky a následného napojení další trubky. Pro napojení se používá pájení nebo svařování. Tudíž není potřeba využití přídavných T-kusů. Tato metoda je rychlá a efektivní.

V úvodu práce je popsána metoda výroby vyhrdlení. Jsou zhodnoceny výhody této metody a pro jaké materiály je tato metody vhodná. Dále se zabývá popisem výrobního stroje typu S-54 a řezného nástroje. Jedná se o speciální nástroj, který je určen jen pro tento typ výroby. Také je uvedeno, jaké alternativy existují při výrobě větvených spojení. Cílem práce bylo seznámení se s tímto typem výroby a porovnání současného a modifikovaného nástroje. Modifikovaný vrták byl upravena a to tak, že byl zmenšen řezný průměr vrtáku. Hodnotilo se, zda tato úprava pomůže vylepšit výšku vyhrdleného límce. A zda bude dodržena dostatečná kvalita, která je požadována.

Bylo zkoušeno vrtat průměr díry šest milimetrů, do tří různých tloušťek trubek. Trubky byly z korozi vzdorného materiálu o síle stěny 0,2 mm, 0,5 mm a 1 mm. Poté byly porovnány výsledky. Na závěr byly zhodnoceny výsledky zkoušení. Zda je splněna dostatečná výška límce vyhrdlení, která je požadována ve výkresové dokumentaci. Pro tyto testy byly využity dílenské prostory firmy Witzenmann Opava spol. s r. o.

Společnost Witzenmann Opava byla založena v roce 1993. Firma navázala na tradici výroby nerezových vlnovců, používaných jako těsnící prvek při výrobě ventilů určených pro jaderný průmysl. Witzenmann Opava, plně integrovaná dceřiná společnost Witzenmann Group, nabízí kompletní produktovou paletu skupiny Witzenmann, stejně jako standardizovaný výrobní design, výrobní procesy, vybavení pro kontrolu jakosti a postupy. Jako technologický leader jsou schopni nabízet komplexní technická řešení a produkty odpovídající potřebám zákazníků. [8]

## 2 Witzenmann Opava spol. s r. o.

V roce 1885 vynalezl Heinrich Witzenmann flexibilní kovovou hadici a tím založil průmysl na výrobu kovových hadic a kompenzátorů. Dodnes pak skupina Witzenmann svými technologiemi a inovacemi spoluvytváří toto odvětví. Tak se skupina Witzenmann vypracovala v předního celosvětového výrobce flexibilních kovových komponentů. Podnik je v oboru známý jako inovativní vývojový partner a spolehlivý výrobce. Witzenmann dnes nabízí světově nejširší výrobní program pro nejrůznější oblasti použití. Toto vytváří předpoklady pro schopnost nabízet vždy ta správná řešení.

Witzenmann Opava je součástí celosvětově působící mezinárodní společnosti Witzenmann Group. Svým zákazníkům nabízí širokou paletu pružných nerezových elementů, které jsou ve světě distribuovány pod značkou HYDRA®. [8, 9, 10]

### 2.1 Historie firmy

Společnost Witzenmann Opava byla založena v roce 1993. Firma navázala na tradici výroby nerezových vlnovců, používaných jako těsnící prvek při výrobě ventilů určených pro jaderný průmysl. Od začátku existence se firma zaměřovala na výrobu vlnovců, malých kompenzátorů do DN100 a kovových hadic. V roce 2008 společnost investovala do dalšího strojního vybavení, což umožnilo rozšířit portfolio výrobků o pružné kovové elementy používané v automobilovém průmyslu jako dilatační prvek výfukových systémů a také o tzv. EGR díly používané v oblasti motorů jak osobních, tak nákladních aut. Od roku 2008 je tedy Witzenmann Opava přímým dodavatelem výrobců v automobilovém průmyslu. [8, 9, 10]



Obr. 2.1 Ukázka portfolia výrobku firmy Witzenmann Opava [11]

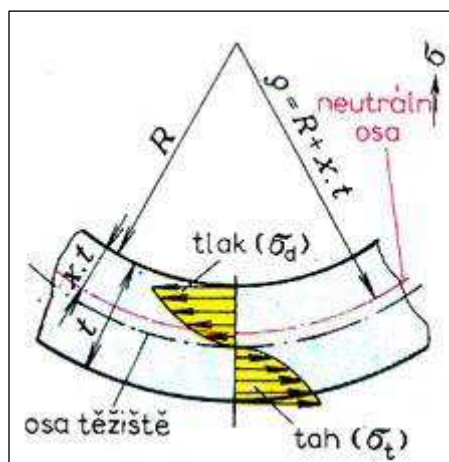
### 3 Použité technologie při výrobě vyhrdlení

#### 3.1 Vrtání

Vrtání je výrobní metoda, kterou se zhotovují díry zplna, nebo zvětšují již předpracované díry (předvrtané, předlité, předlisované, předkované, atd.). Hlavní pohyb je rotační a vykonává ho obvykle nástroj (vrták), méně často obrobek. Osa vrtáku je zpravidla kolmá k obráběné ploše, na které vrták vstupuje do obráběného materiálu. Posuvový (vedlejší) pohyb, ve směru své osy, vykonává vrták. Při vyhrubování, vystružování a zahlubování se využívají analogické pohyby nástroje pro dosažení vyšších kvalitativních parametrů obráběných děr (odchylky jmenovitého průměru, kruhovitost, válcovitost, struktura povrchu). Při zahlubování se provádí úprava tvarů konců děr a ploch k nim přilehlých. [12]

#### 3.2 Ohýbání

Ohýbání je proces tváření, při kterém je materiál trvale deformován do různého úhlu ohybu s menším nebo větším zaoblením hran. K ohýbání používáme nástroje – ohýbadla, skládající se z ohybníku a ohybnice. Výrobkem je výlisek – ohybek. Ohnutí tělesa (vzniklé tvary jsou nazpět rozvinutelné) do žádoucího tvaru využívá stejných zákonů plasticity, jako ostatní způsoby tváření – překročením meze kluzu dosáhneme oblasti plastické deformace. Plastická deformace je doprovázena deformací elastickou. Po průřezu je to pružně plastická deformace, která má různý průběh od povrchu materiálu k neutrální ose. [13]



Obr. 3.1 Rozložení a velikost napětí v materiálu [13]

### 3.3 Orbitální svařování

Orbitální svařování bylo poprvé použito v roce 1960, kdy letecký průmysl uznal, že potřebuje lepší spojovací techniku pro letectví a kosmonautiku. Mechanismus byl vyvinut, kdy oblouk z wolframové elektrody rotoval kolem svarového spoje svařovaného potrubní. Současný obloukové svařování bylo upraveno pomocí řídicího systému, tak byl celý proces automatizován. Výsledkem byla vyšší přesnost a spolehlivější metoda, než je ruční metoda svařování. [14]

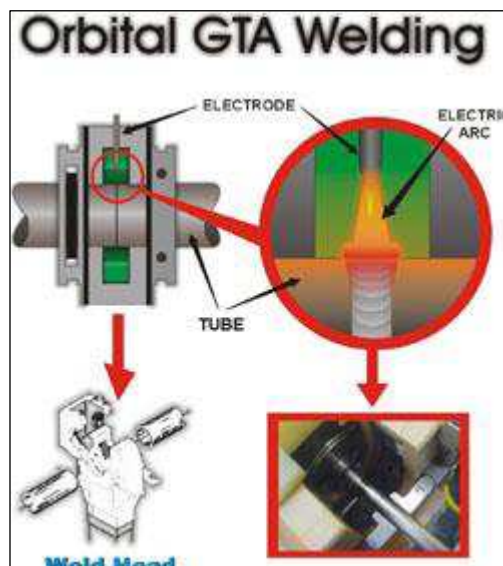
Tam kde se požadují kvalitní výsledky, je orbitální svařování první volbou pro spojování trubek. Svařovací hořák, ve většině případů se používá metoda svařování TIG (141, obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu). Obecně platí, že orbitální svařování se využívá ve dvou hlavních oblastech:

1. Spojení trubka – trubka

Všechny druhy spojení u trubek, tupé svarové spoje, svařování přírub, svařování ohýbaných trubek, svařování T – kusů, ventilů atd.

2. Spojení trubka – trubkovnice

Tato skupina se týká výroby kotlů, výměníků tepla a zahrnuje různé svařovací úkoly související s tímto typem svařování. [15]

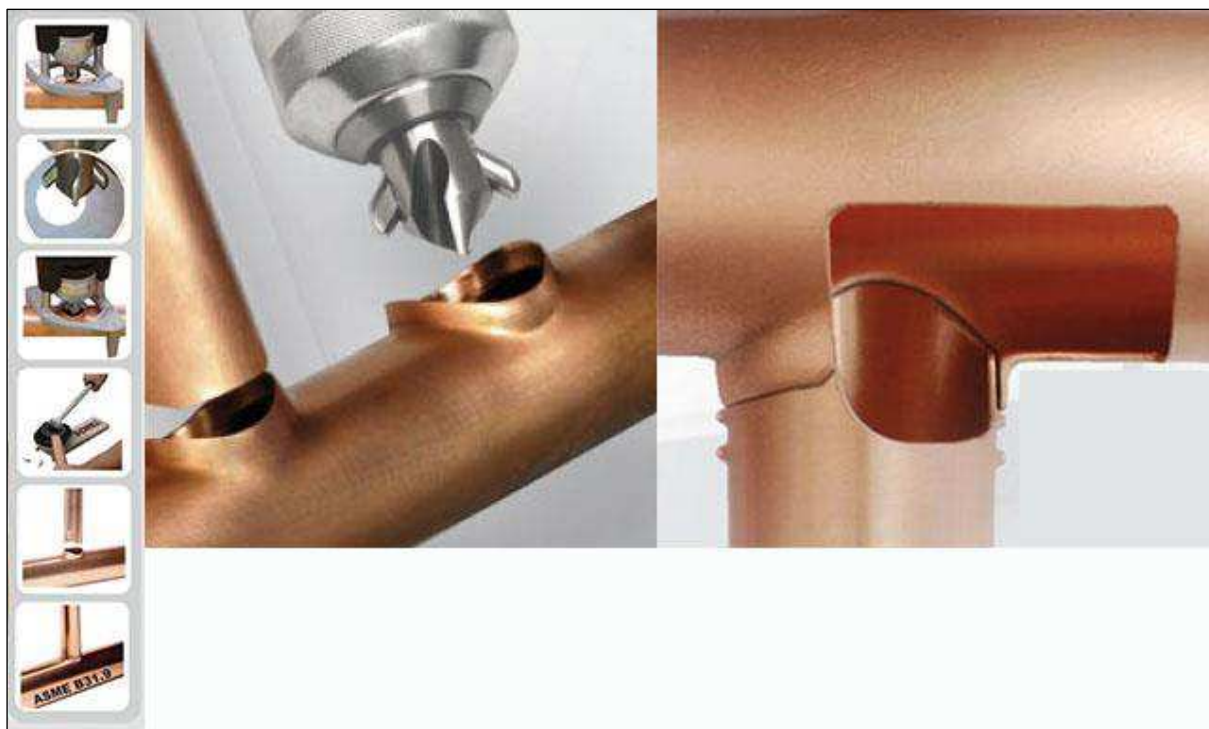


Obr. 3.2 Ukázka orbitálního svařování [16]

## 4 Co je to T-Drill?

T-Drill je výrobní řešení pro trubky a potrubí. K tomuto se využívají průmyslové, ale i ruční stroje. T-Drill proces je patentovaná metoda tvořící výstupky pro větvení přímo z průběžné trubky. Tento proces formování vytlačených výstupků není nový pojem. Celý T-Drill proces od vrtání díry k tvorbě vyhrdlení je uskutečněno na jediné pracovní stanici a na jedno upnutí. To je velice důležité pro výrobní průmysl, k výrobě vyhrdlení je využit cenově efektivní stroj, který má snadnou a rychlou obsluhu.

Stejně důležité je, že T-Drill proces má vysoké měřítko pro precizní a odpovídající kvalitu konečného výrobku. [1] [2]

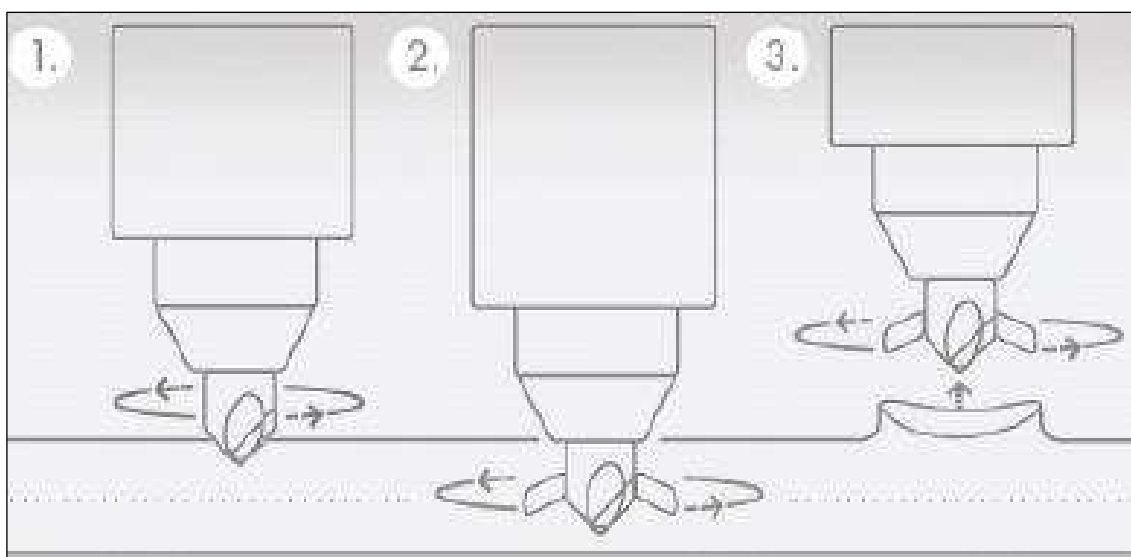


*Obr. 4.1 Metoda T-Drill [7]*

Stroje speciálně typu T-60, T-110, TEC-150 a více automatizované verze jsou navrženy pro tupé svařované spoje. Hlavně zahrnují výrobu vyhrdlení pro tupý svarový spoj u železných a neželezných materiálů trubek. Vyhrdlení se využívá v oboru HVAC (Heat Ventilation And Air Conditioning), což znamená vytápění, větrání a klimatizace, instalatérství, lodní průmysl (větrací, hasicí systémy), potravinářský průmysl, (kde je využíváno vyhrdlení u nerezových součástí), automotive (výměník tepla klimatizace) a speciální aplikace (Olympijské hry Londýn-olympijský oheň při zahajovacím ceremoniálu). Také nabízí ruční stroje pro instalatéry a údržbáře. [1, 2]

#### 4.1 T-Drill vyhrdlovací metoda

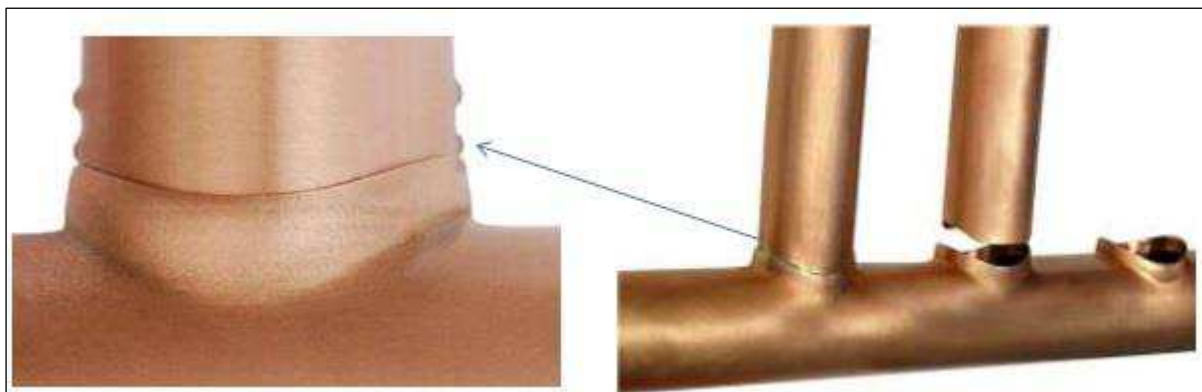
T-Drill metoda byla vyvinuta v roce 1970. Nápad, že trubky a duté profily mohou být větveny rychleji a efektivněji ke konečnému produktu s větší pevností a vyšší kvalitě byl tak revoluční, jak to bylo jednoduché a proto se stala tato metoda jedna z hlavních vynálezů této doby. Vzhledem k tomu, že vyhrdlení je vyrobeno ze základní trubky, nejsou potřebné a nákladné T-kusy. Na místo tří spojů, máme jeden spoj. To šetří mnoho času a prostředků a tím pádem to snižuje celkové náklady. Konstrukce také dělá trubku silnější a poskytuje lepší tokové vlastnosti. Větvení trubek – to je připojování další trubky k průběžnému potrubí – vyhrdlovací metoda T-Drill. Spoj může být dokončen pájením (přeplátovaný spoj) nebo svařováním (tupý spoj). [4]



Obr. 4.2 Proces výroby vyhrdlení [5]



U pájení (překlátovaný spoj) je vyvrtán otvor do trubky pomocí vyhrdlovací hlavy vrtáku. Až je vrták uvnitř trubky, vysunou se dva tvořící kolíky z vrtáku. Poté se automaticky vyhrdlovací hlava vrací zpět a tím vytvoří vyhrdlení. Na to je další trubka připojena pájením. A tím je spoj dokončen. Na připojovací trubce jsou vytvořeny zářežky, podle kterých se zajistí správná délka zapuštění větvené trubky. [4]

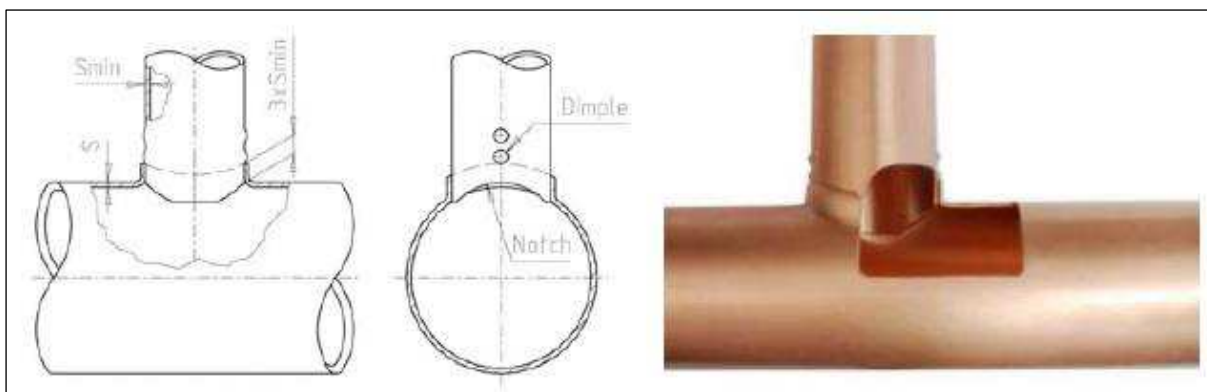


*Obr. 4.3 Detail překlátovaného spoje pomocí zářežek [5]*

Požadovaná výška vyhrdlení (u překlátovaného spoje) musí být tři krát větší, než je tloušťka stěny trubky, abychom získali maximální pevnost spoje. Normálně jsou tyto spoje využívány u malých průměrů trubek, jako je u klimatizací, automotive a další. [4]

## 4.2 Výška vyhrdlovacího límce

Běžně má připojovací trubka menší tloušťku stěny, než je tloušťka vyhrdleného límce. Bezpečná výška vyhrdleného límce vytvoří pevný spoj. Např.: když je hlavní trubka  $\varnothing 15 \times 1$  mm a připojovací trubka je  $\varnothing 8 \times 0,7$  mm, proto je potřebná výška vyhrdlení (šířka překlátování) rovná  $3 \times 0,7 = 2,1$  mm. Toto je minimální hodnota, která zaručuje bezpečný spoj. [5]



*Obr. 4.4 Výška vyhrdlovacího límce [5]*

Doba potřebná pro výrobu této metody se pohybuje od sekund až po minuty, záleží na průměru trubky a použitém materiálu. Kompletní vyhrdlovací proces se uskutečňuje mimo trubku, na rozdíl od tradičních metod, kde jsou další kusy vloženy mezi trubky. To způsobuje, že se těžko odhaduje, jak dlouhé úseky trubek jsou požadovány. [4]

**Výhody:** [4]

- Snížení výrobních nákladů až o 80%.
- Žádné nákladné zásoby.
- Méně odpadového materiálu.
- Zlepšená pevnost výrobku, průtok a pájecí vlastnosti.
- Pouze jeden pájený spoj místo tří.
- Použitelné téměř pro všechny tvárné materiály, včetně korozivzdorné oceli, slitin hliníku a mědi.



## 5 T-Drill výhody

### Kritéria pro výrobu vyhrdlení: [2]

- 1) Pevnost
- 2) Průtok
- 3) Korozní vlastnosti
- 4) Ekonomika
- 5) Umožňuje automatické/orbitální svařování
- 6) Záruka kvality

#### 5.1 Pevnost

Vyhrdlení je vyráběno deformováním kovové trubky, a proto tloušťka stěny v místě ohybu vyhrdlení bude menší než tloušťka stěny trubky. Jak tloušťka zmenšuje účinek pevnosti větveného spojení závisí na rozložení zatížení porovnaného se zatížením tloušťky stěny a na stupni ztenčení stěny.

##### Rozložení zatížení

Detailní matematické studie ukazují, že pravoúhlé zatížení k ose trubky je jenom 35 – 50 % působícího zatížení ve směru osy trubky. To znamená, že jestliže je tloušťka stěny dostačující v místě ohybu, tloušťka stěny vyhrdlení může být o 50 % tenčí. Podle testů tlakem, které způsobují roztržení měřené součásti vydrží vyhrdlená část trubky 7,5÷8 krát větší pracovní tlak než který je běžně povolen využívat. Testy opírající se o dlouhotrvající praktické experimenty firmy T-Drill, že vyhrdlení je silné jako svařovaný spoj s protínající se trubkou. [2]

#### 5.2 Průtok

Průtok vyhrdleného spoje může být podobný těm, jako mají pájené tvarovky. Avšak ve srovnání se svařovanými spoji nabízí T-Drill tyto výhody: [2]

- Geometrický tvar průtoku je jemný a zakřivený, žádné ostré rohy.
- Vnitřní průměr vyhrdlení lze vždy nastavit, aby odpovídala druhu navazující trubky, přičemž ramena způsobující turbulence média mohou být eliminovány.
- Kulatost vyhrdlení je stejná nebo lepší než odpovídající tolerance určené pro běžné standartní trubky.

### 5.3 Korozní vlastnosti

Tvar vyhrdlení vyrobeného metodou T-Drill je pravidelný a kvalita povrchu je dobrá, to jsou nejdůležitější výhody této metody z důvodu korozní odolnosti.

Závěr nezávislého průzkumu “Korozní vlastnosti vyhrdlení metodou T-Drill z austenitické korozivzdorné oceli” jsou následující: [2]

- Množství martenzitu u vyhrdleného spoje se ukázalo být malé. Jestliže ocel zůstává pasivní, i větší obsah martenzitu nezpůsobuje problémy.
- Pittingová koroze u vyhrdlení je dobrá porovnáním s trubkami ohýbanými za studena nebo trubkami svařovanými.
- O dobré podmínky vzniklého spoje se starají tvářecí kolíky a správné mazání nebo využití nástrojů s nitridy titanu hliníku nebo nitridu hliníku chromu.
- Většina korozních chyb je způsobena místními ekologickými podmínkami.

Všechny výsledky této studie zdůrazňují, že vyhrdlení z austenitické korozivzdorné oceli je dobře použitelné v běžném provozu, ale musí být použita správná metoda výroby. [2]

### 5.4 Ekonomika

T-Drill metoda podstatně snižuje náklady na materiál, práci a kontrolu. To také nabízí nepřímé úspory v redukci seznamu materiálu, manipulaci s materiálem, skladovací prostory a požadovanou výrobní plochu. Kvůli svarovým spojům T-Drill metoda přináší také další šetřící příležitosti za předpokladu automatického svařovacího vybavení. Také krátké trubky, které by jinak byly šrotem může přeměnit k vysoké hodnotě, vyrobit z nich fitinky. T-Drill stroje jsou cenově dostupné pro malé podniky jakož i splňují potřeby pro velké továrny. Mechanicky tvořené větvené spoje minimalizují množství svařovaných a přidružených dalších požadovaných operací, minimalizuje počet T fitinků, které mají být zakoupeny, zlepšuje celkově kvalitu produktu a pracuje dobře s orbitálními svařovacími stroji s jediným malým přizpůsobením svařovací hlavy. [2]

## 5.5 Umožňuje automatické/orbitální svařování

Ve většině případů, T-Drill proces vytváří větvené spojení, které je vhodné pro použití orbitální svářečky. Většina výrobců orbitálních svářeček dělá adaptér pro standartní svařovací hlavu, která se využívá ke svařování vyhrdlení. Adaptér se obvykle skládá ze speciálního ochranného plynu pro utěsnění a elektrody ačkoli každý výrobce vyvíjí trochu různé řešení. [2]

## 5.6 Záruka kvality

Vyhrdlovací metoda je uskutečněná mechanicky na jedno upnutí s nastavitelnými nástroji. Rozměry prvotní díry jsou číselníkově řízeny kvůli možnosti chyby operátora. Tyto skutečnosti kombinujeme s nejkratší možnou délkou svaru a minimem svařovacích příprav, které přispívají k precizní a předvídatelné kvalitě konečného produktu. [2]

**T – Drill funkce:** [2]

- Precizní vyhrdlení na jedno upnutí.
- Aplikovatelné pro různé materiály.
- Všechny vyhrdlovací nástroje jsou nastavitelné.
- Nevyžaduje rozsáhlé obrábění.
- Minimum svařované délky, ceny materiálu a nedestruktivních zkoušek.
- Nízké provozní náklady.
- Není požadována tepelná úprava pro normální provozní aplikace.
- Zjednodušuje nákup materiálu.
- Spolehlivost a kvalita.

## 6 Materiály pro výrobu vyhrdlení

Hodnota, která by mohla ukazovat, zda je materiál vhodný pro výrobu vyhrdlení je hodnota poměrného prodloužení. Však není běžně specifikovaný standartní materiál, který má být použit při výrobě vyhrdlení. Hodnota poměrného prodloužení k hodnotě lomu závisí na použitém zkušebním vzorku, a tudíž existují různé hodnoty pro různý materiál. [3]

### 6.1 Nízko uhlíková ocel

T-Drill proces může využívat trubky z nízkouhlíkové oceli, která obsahuje od 0,2 do 0,25 % uhlíku a méně. Struktura by měla být normalizována nebo přednostně žíhána. [3]

### 6.2 Korozivzdorná ocel

Korozivzdorná ocel je slitina nízkouhlíkové oceli a chromu. Když je kromě toho použit nikl v dostatečném množství jako legující prvek, ocel se nazývá austenitická korozivzdorná ocel. Austenitická korozivzdorná ocel má obsah chromu od 12 do 18 % a uhlíku od 0,08 do 0,03 %. Obsah chromu niklu zajistí, že materiál má excelentní korozní a kujné vlastnosti při pokojové teplotě. Nejběžnější austenitické korozivzdorné oceli jsou 1. 4031, 1. 4307, 1.4401 a 1. 4404, které reprezentují 50 % používaných korozivzdorných ocelí dnes. [3]

### 6.3 Neželezné materiály

#### 6.3.1 Měď a slitiny mědi

Měď je velice slučitelná s procesem T-Drill. Mosaz má nejprůzračnější stav pro výrobu vyhrdlení, když obsahuje okolo 30 % zinku. Podobná struktura zrn cínového bronzu se stává heterogenní, když cín procentuálně přesahuje 10 %. U mědi hliníkovou slitinu odpovídá minimální hodnota pro hliník  $8 \div 9$  %. Pro měď niklovou slitinu žádná omezení neexistují kvůli její kompletní mísitelnosti. Hliníková mosaz a niklová mosaz mají excelentní tvárnost. [3]

### **6.3.2 Hliník a slitiny hliníku**

Ohledně vyhrdlování trubek z čistého hliníku neexistuje mezní poměr, kdy je doporučeno využít jiný materiál. Avšak slitiny hliníku jsou limitovány, neboť obrobek musí být žíhaný před tvářením za studena. Tváření může začít poté až trubka vychladne. Je třeba uvést, že válcované a tažené trubky jsou více vhodné pro metodu vyhrdlení než ty extrudované. Ve spojení s letitými měď a hliníkovými slitinami to je důležité vědět, že neztratí svoji tvárnost v důsledku dlouhodobého skladování. [3]

## **6.4 Speciální materiály**

T-Drill proces může také být aplikovatelný v širokém rozsahu trubek vyrobených z tvárných materiálů (např. Duplex, Inconel, Titan). [3]

## 7 Postup výroby vyhrdlení

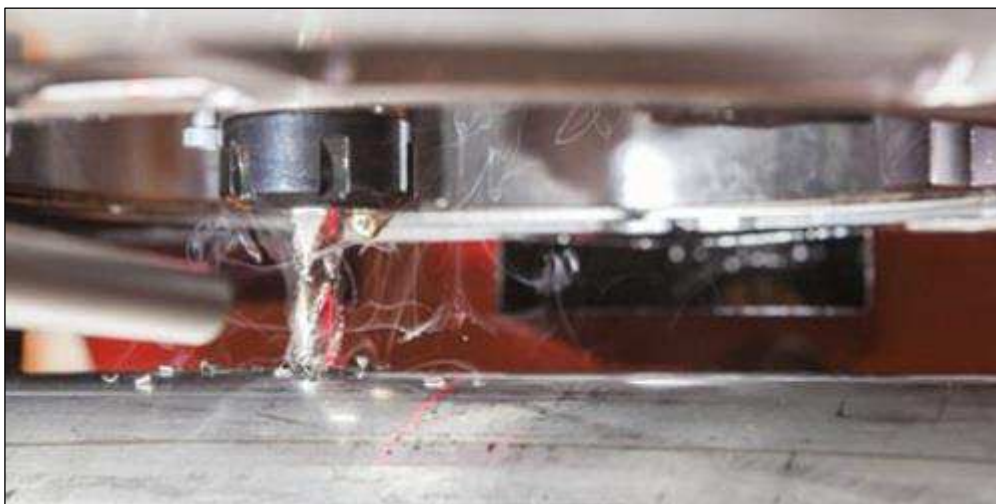
V následujícím sledu obrázků vidíme krok po kroku výrobu vyhrdlení. Jedná se o výrobu velkých průměrů díry a velké síly stěny, a proto se nejprve musí vyfrézovat pilotní díra. Je použita klasická monolitní stopková fréza. Poté co je vytvořena díra elipsovitého tvaru můžeme přejít k samotnému vyhrdlení. Pomocí vyhrdlovacího nástroje je vytvořen vyhrdlovací límec, který je následně začištěn na potřebnou výšku. Po tomto kroku je vyhrdlení připraveno pro další operace. Větvení trubek je realizováno buď svařováním nebo pájením.

V našem postupu vyhrdlení jsme postupovali stejným způsobem, až na pár výjimek. Jelikož jsme využili výrobní stroje typu S-54, který je určen pro menší typy výrobků, není nutné frézovat pilotní díru. Tuto operaci udělá vyhrdlovací nástroj včetně výroby vyhrdlovacího límce. A také není nutné výsledný tvar upravovat pomocí řezného nástroje. Tohoto je využíváno jen u velkých výrobců, které jsou následně svařovány.

Prvním krokem výroby vyhrdlení je upnutí součásti na stroji. Upínací zařízení se liší dle velikosti výrobního stroje, velikosti a druhu součásti. Na obr. 7.1 je využita kruhová svorka. V dalším kroku se využívá fréza, která má za úkol vyfrézovat pilotní díru. (obr. 7.2, 7.3)



*Obr. 7.1 Upnutí součásti. [2]*



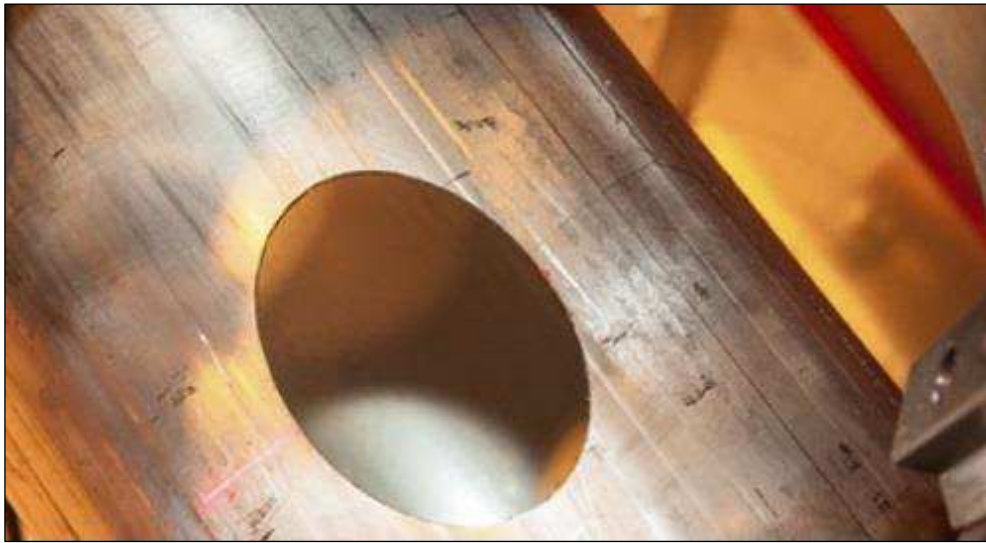
*Obr. 7.2 Fréza jde skrz stěnu trubky a začíná frézovat pilotní díru. [2]*



*Obr. 7.3 Frézování pilotní díry. [2]*

Po operaci frézování je vytvořena elipsovitá díra (obr. 7.4) a přichází na řadu vyhrdlovací hlava (obr. 7.5). Ta má za úkol vytvořit vyhrdlení. Nástroj se vsune dovnitř trubky, kde se vysunou tvářecí čelisti. Ty při zpětném pohybu nástroje vytvoří vyhrdlený límec (obr. 7.6). Ten je následně upraven na požadovanou výšku pomocí dokončovacího nástroje (obr. 7.7). U svařování je požadováno zkosení, které je tímto vytvořeno.





*Obr. 7.4 Elipsovité pilotní díra je připravena na vyhrdlení. [2]*

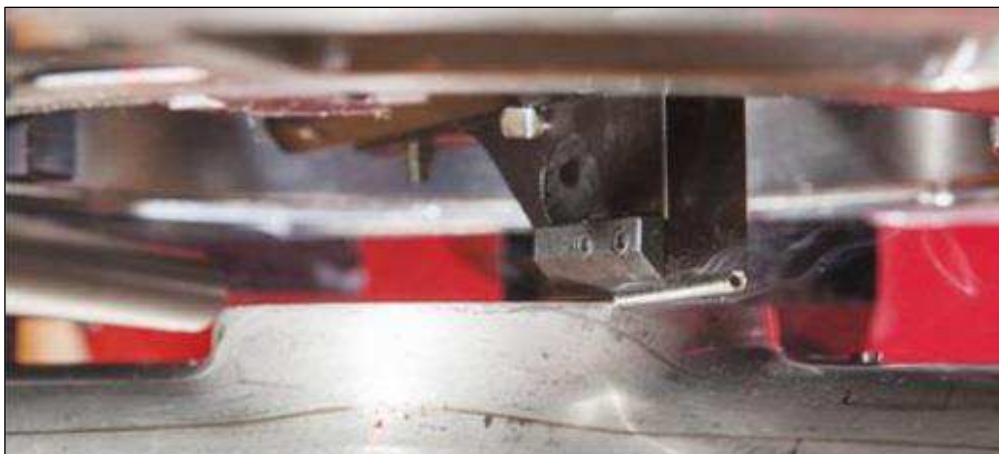


*Obr. 7.5 Vyhrdlovací hlava je uvnitř trubky. [2]*

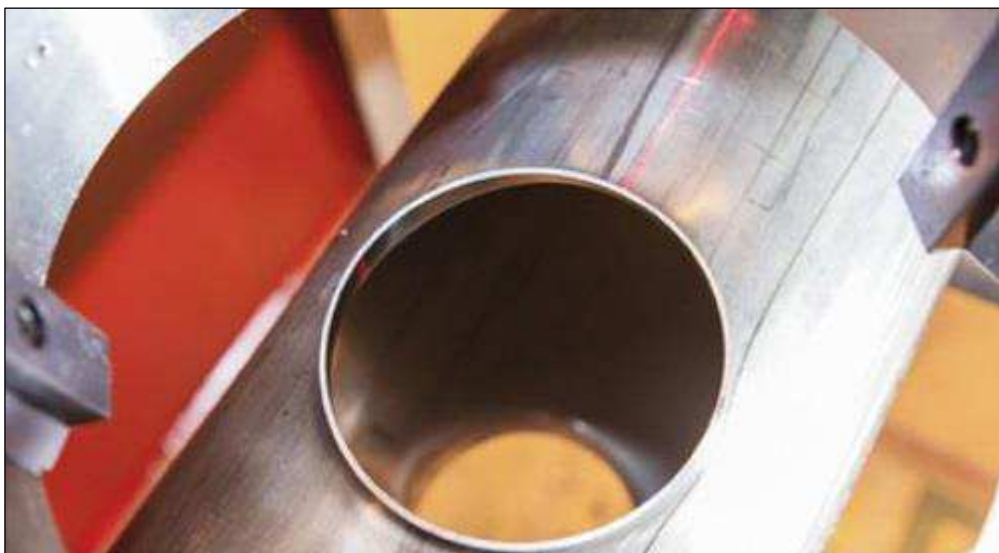


*Obr. 7.6 Tvorba vyhrdlení. [2]*





*Obr. 7.7 Úprava vyhrdlení. [2]*



*Obr. 7.8 Výsledný stav, vyhrdlení je připraveno pro další operace. [2]*

## 8 Řešení pro automotive

**T-Drill nabízí široký rozsah řešení pro automotive: [3]**

- Rozdělovače paliva a komponenty.
- Fitinky pro olej a benzín.
- Vysokotlaké trubky pro vstřikování benzínu.
- Brzdové trubičky.
- Posilovač řízení.
- Kontrola znečištění (lambda sonda).
- Plnicí porty klimatizace.
- Chladicí trubky brzd.
- Výměník tepla klimatizace.
- Sací a výfukové systémy.

Výroba je navržena pro inovativní a cenově efektivní řešení pro kapalinové systémy pro vytápění a chlazení, hnací a brzdící vedení a posilovače řízení.

T-Drill vyhrdlovací metoda umožňuje spolehlivé a snadné T-spojení pro klimatizace aut. To má zásadní význam pro automobilový průmysl ve spojování trubek, neboť každé auto je vystaveno silným otřesům, které mohou vytvořit netěsnosti a jiné problémy s tradičně vyrobených metod spojování.

Pájený spoj proveden na vyrobeném vyhrdlení, vytvořený z hlavní trubky splňuje požadavek přeplátovaného spoje, který je třikrát delší než tloušťka spojovaného členu. Tento druh pájeného spoje je nejspolehlivější v důsledku dodatečného lapovaného spoje. Je také důležité poznamenat, že vývody jsou tvořeny pouze vně hlavní trubky. To odstraňuje všechny omezení průtoku, které jsou běžné u tvářecích operací.

S-54 vyhrdlovací stroj se využívá při výrobě motorových systému, vstřikování paliva vysokým tlakem u dieselových motorů, jakož i výfukové systémy a obnovovací systémy pro páru. Řada T-Drill automatického beztržiskového obráběcího stroje nabízí extrémně vysokou přesnost s rychlou produkcí a řezání trubek přímo ze svitku. [3]



*Obr. 8.1 Ukázka výrobku rozdělovače paliva [6]*



*Obr. 8.2 Trubka chladící kapaliny [28]*

## 9 Alternativy k T-Drill

Obecně je to pravoúhle napojení další trubky, a to můžeme rozdělit do tří kategorií:

- I. Fitinky-jedná se o tvarovky, sedlové spojení nebo svarové spojení v závislosti na aplikaci.
- II. Díry-díra je produkován v trubce nebo potrubí a připojení větve je pomocí vložení do otvoru a jsou spájeny nebo svařeny. Někdy pro připojení trubky se využívá příruba nebo sedlový tvar pro získání větší pájecí plochy.
- III. Extrudované výstupky-rozšíření, příruba nebo vyhrdlení, jak jsou běžně nazývány, jsou vytvořeny na hlavní trubce. Připojovací trubky jsou buď vloženy do břišního kloubu nebo jsou přivařené k dokonale rovnému vyhrdlenému límci. Do této kategorie patří metoda T-Drill. [17]

### 9.1 Fitinky

Typický kovaný T kus je jednou z nejběžnějších metod k získání spojení trubek pomocí větvení. Tento způsob je vhodný pro aplikace s malým objemem, přesto poskytuje kvalitní spoj, který je navržen tak, aby byl roven nebo větší, než je trubka, do které je vložen. [17]

#### VÝHODY [17]

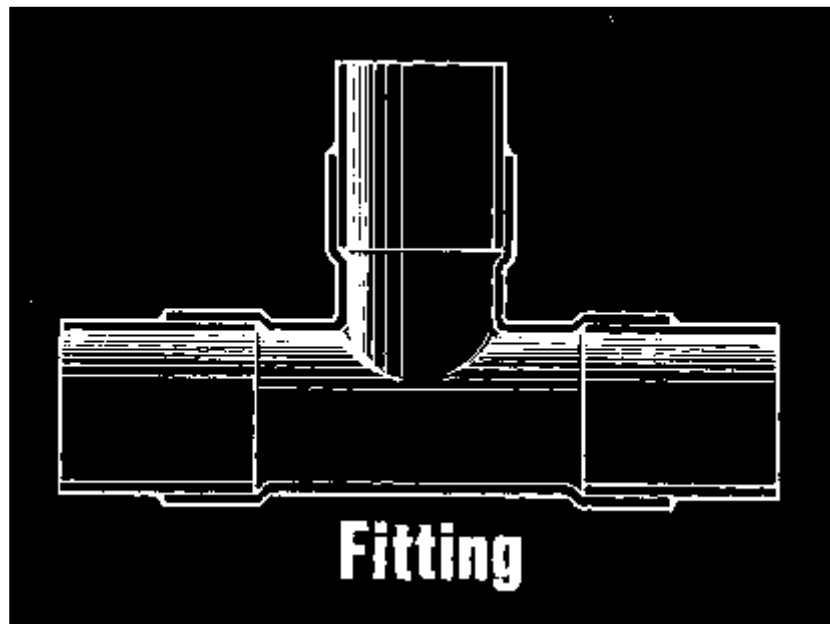
- Dostupnost.
- Nevyžaduje speciální obráběcí stroje.
- Pevný spoj.
- Kvalitní spojení.

#### NEVÝHODY [17]

Jak je uvedeno výše, fitinky poskytují krátkodobé řešení. Avšak vyšší objemy produkce vyžadují zkoumání alternativních metod, neboť omezení této metody, může významně zvýšit provozní náklady.

- Drahý.
- Vyžaduje inventarizaci v procesu řízení.
- Nenormalizované velikosti používané u HVAC a dalších odvětvích nejsou obvykle k dispozici. Tím se zvyšuje jejich cena.

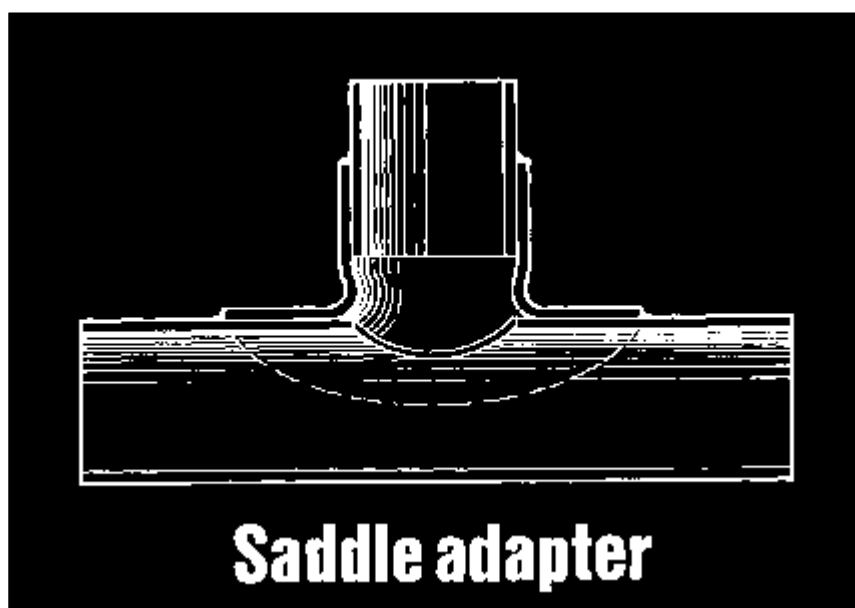
- Připojení vyžaduje tři klouby s příslušnými časy pájení a má větší potenciál pro vznik úniku.
- Vyžaduje až o 50 % vyšší spotřebu pájecího materiálu než jiné metody.
- Vytváří tuhý člen, který nemá odolnost vůči vibracím jako jiné systémy.
- Vyžaduje více řezáních operací a následné odstranění otřepů.



*Obr. 9.1 Ukázka fitinkového spojení [17]*

## 9.2 Sedlové napojení

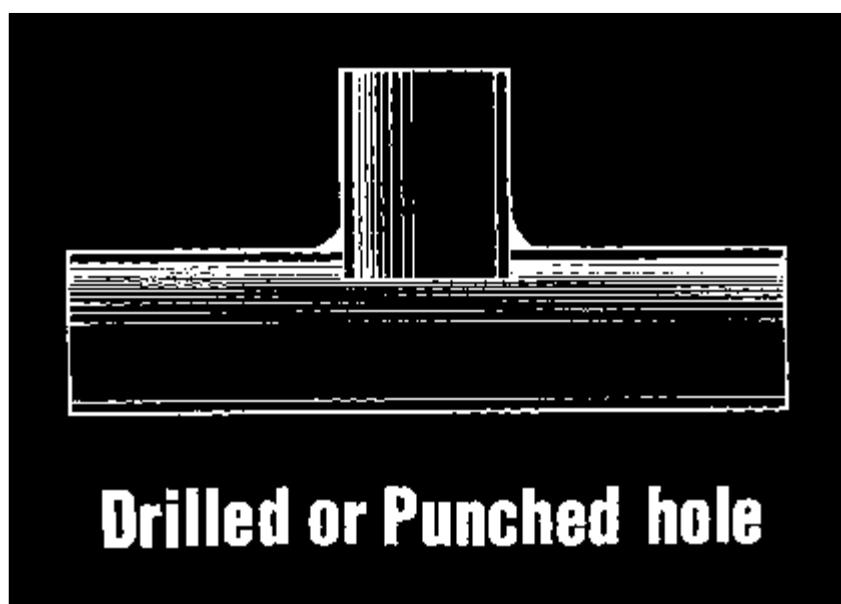
Podobně jako fitinky se používá nástavec ve tvaru sedla, který je uměle vytvořen z tvarovky a poskytuje podobné výsledky, ale je použito o jedno připojení méně. To eliminuje operace, jako je řezání trubek, dva pájené spoje a je méně nákladný než většina fitinků, kterých si většina firem vyrábí sama. I když to nemůže omezit některé operace, ale vyžaduje to vyvrtání otvoru v trubce. [17]



*Obr. 9.2 Ukázka sedlového napojení [17]*

### 9.3 Díry

Většina společností, které produkují větvené spojení a mají mírný objem výroby, se snaží rozvíjet své vlastní výrobní systémy. To má obvykle nejjednodušší formu způsobu výroby, a to spočívá ve vyvrtání díry v hlavní trubce, do níž je vložena připojovací trubka, která je následně připájena. Otvor může být vyroben buď vrtáním nebo děrováním. Děrování může být s nebo bez vnitřní trnu pro podporu. [17]



*Obr. 9.3 Ukázka děrovaného nebo protlačeného spojení [17]*

### 9.3.1 Vrtané díry

Pro tento přístup se obvykle využívá vrtačka. Upínání se pohybuje kolem vrtaných otvorů v dané části. V případě, že je potřeba několik otvorů v jedné části, například rozdělovače, součást může být nastavena pomocí vícenásobného vrtacího vřetena. [17]

#### Hlavními důvody použití: [17]

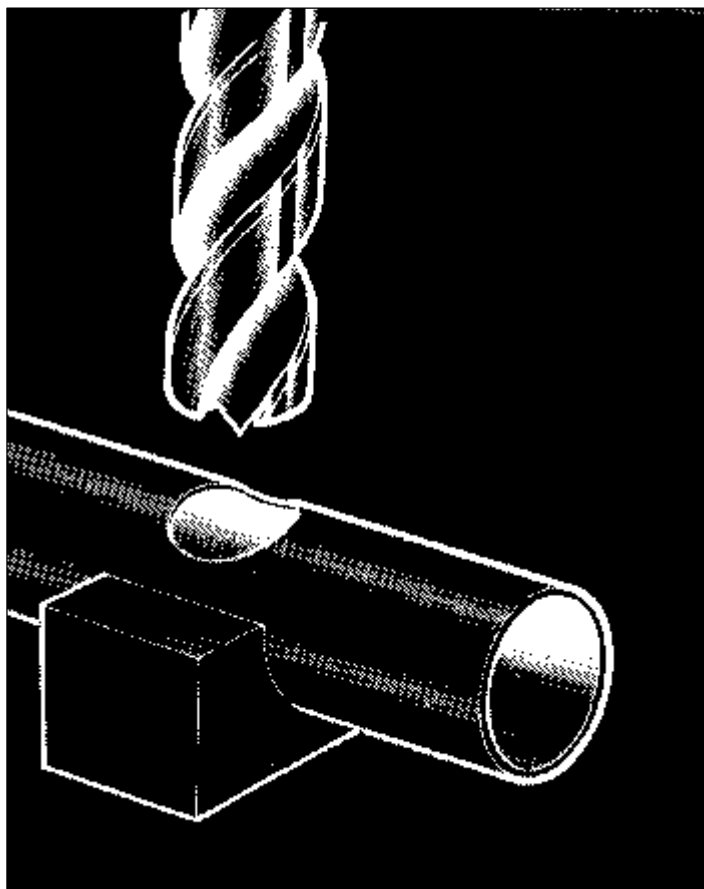
- Vrtané díry mají konstrukci flétny. Nejúspěšnější způsob je vrtání do plechu, aby se minimalizovalo zkosení a otřepy.
- Vrtací rychlosti a rychlosti posuvu. Je nejdůležitější, při vrtání jádra mít posuv v souladu s řeznou rychlostí vrtáku.
- Vrtací otáčky se liší dle použitého materiálu, typické hodnoty:

*Tab. 9.1 Hodnoty otáček vrtání.*

<b>Materiál</b>	<b>Otáčky [min<sup>-1</sup>]</b>
Měď	1000 ÷ 1500
Ocel	500
Korozivzdorná ocel	375

Poznámka: toto bude záviset na průměru díry a rychlosti posuvu.

- Životnost nástroje byla vylepšena použitím povlaků pro různé druhy materiálu.
- Mazivo je nezbytná pro dlouhou životnost nástroje. V případě mědi, hliníku a nízkouhlíkové oceli jsou nyní k dispozici mazání olejovou mlhou, která využívá biologických olejů. To je velký pokrok, protože tyto oleje jsou odpařovány a nevyžadují umývání.



*Obr. 9.4 Ukázka vrtání díry [17]*

### 9.3.2 Děrování děr

Alternativní způsob, jak dosáhnout stejného otvoru, je děrování otvorů v trubce. Tento způsob obvykle vyžaduje specializované stroje. Nicméně, mnoho společností dosáhly požadovaných výsledků pomocí standardního lisu.

Výhodou děrování je důležité zejména v dnešní době. To vyžaduje minimální nebo žádné mazání a otřepy mohou být téměř eliminovány, jestliže budou nástroje udržovány. Pro dosažení nejlepších výsledků využíváme trnu, který je doporučený, aby byl zajištěn čistý otvor bez otřepů a poničení trubky. Použití trnu je omezeno průměrem děrované trubky.

Jsou k dispozici stroje pro tuto práci, včetně výměnných trnů, nedílná je děrovací jednotka nebo indexování vřeteníkem pro možnost uchycení trubky v axiální a radiální poloze. [17]

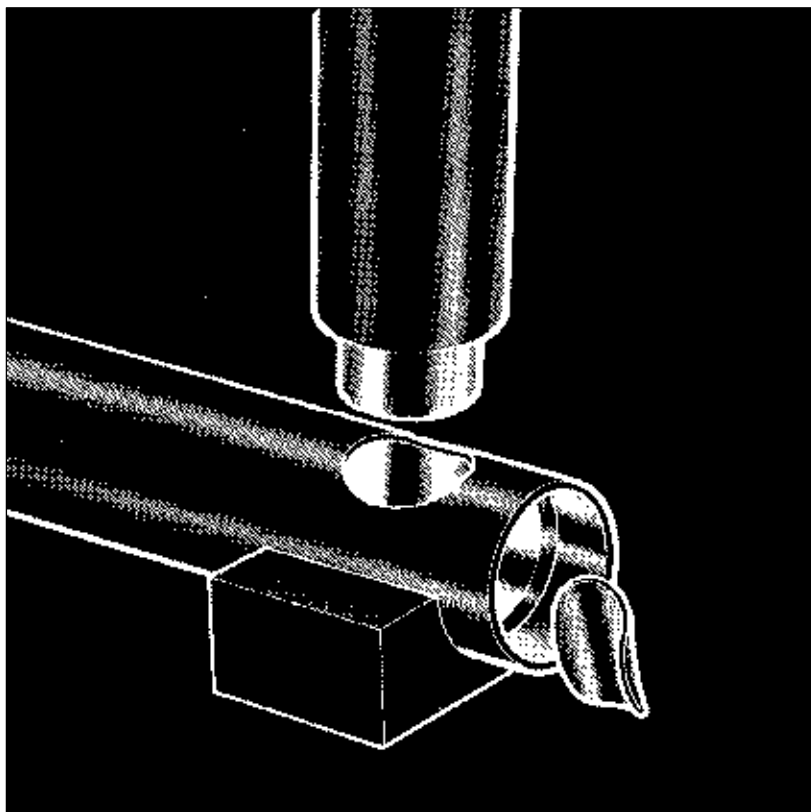


**VÝHODY [17]**

- Relativně levný stroj.
- Může být více nástrojový.
- Silný.
- Nevyžaduje žádné nebo minimální mazivo.
- Rychlé pracovní cykly.

**NEVÝHODY [17]**

- Spoj má minimální pevnost v důsledku šířku kontaktu mezi větvenou a hlavní trubicou.
- Může mít za následek pronikání větvené trubky do hlavní trubky vlivem průtoku média.
- Vyžaduje 35 až 40 % více pájecího materiálu k získání pevného spoje.
- Nelze použít s trnem na trubicích menších než 16 mm.
- Pracovní plocha musí být přístupná (rovná), aby trn mohl být vložen do trubky.
- Nemůže být použito děrování děr, když je díra větší, než je 60 % průměru hlavní trubky.



*Obr. 9.5 Ukázka děrování díry [17]*

## 10 Popis stroje a nástroje

### 10.1 Vyhrdlovací stroj S-54

Sestava stroje zahrnuje vlastní konstrukci (stojan), vřeteno a hnací mechanismus. Stojan a vřeteno absorbují vyhrdlovací zatížení. Posuv vřetene je řízen servopohonem, což zajišťuje optimální výkonnost a velkou přesnost. Otáčení vřetene je realizováno pomocí ozubeného řemene přímým motorovým pohonem. To zaručuje spolehlivost strojů T-DRILL S-54 i při vysokých nárocích v průmyslu. Stroje S-54 jsou určeny k formování hrdel odbočných trubek. Vyhrdlovací postup je vhodný pro všechny materiály tvarovatelné za studena, jako jsou hliník, mosaz, měď a ocel. Hrdlo je určeno pro spojení s odbočnou trubicí pájeným spojem. Vyhrdlovací stroje S-54 se dodávají ve dvou různých provedeních, a to provedení pro měď a provedení pro ocel: [19]

Tab. 10.1 Technická specifikace [19]

Model	Jednotka	S-54 Cu	S-54 Fe
Typ, kód		5508	5509
Průměr hrdla	mm	Ø6-Ø54	Ø10-Ø54
Průměr vyhrdlovací trubky	mm	Ø8-Ø108	Ø10-Ø108
Max. tloušťka stěny		Viz. tabulka kapacit	
Vyhrdlovaný materiál		Měď, hliník, mosaz	Fe, nerezová ocel
Přívod tlakového vzduchu	bar	6	6
Spotřeba tlakového vzduchu	Nm <sup>3</sup> /h	3	3
Rychlost otáčení vřetene	ot/min	190-1000	100-770
Hodnota příkonu	kW	3	3
Pojistky	A	3x16-63 (min-max)	
Provozní napětí		200-240 V/50 Hz (/60 Hz)	
		380-480 V/50 Hz (/60 Hz)	
Rozměry stroje	mm	1130 (H) x 280 (B) x 930 (T)	
Hmotnost stroje	kg	200	
Hlučnost		Za provozu nižší než 70 dB (A)	

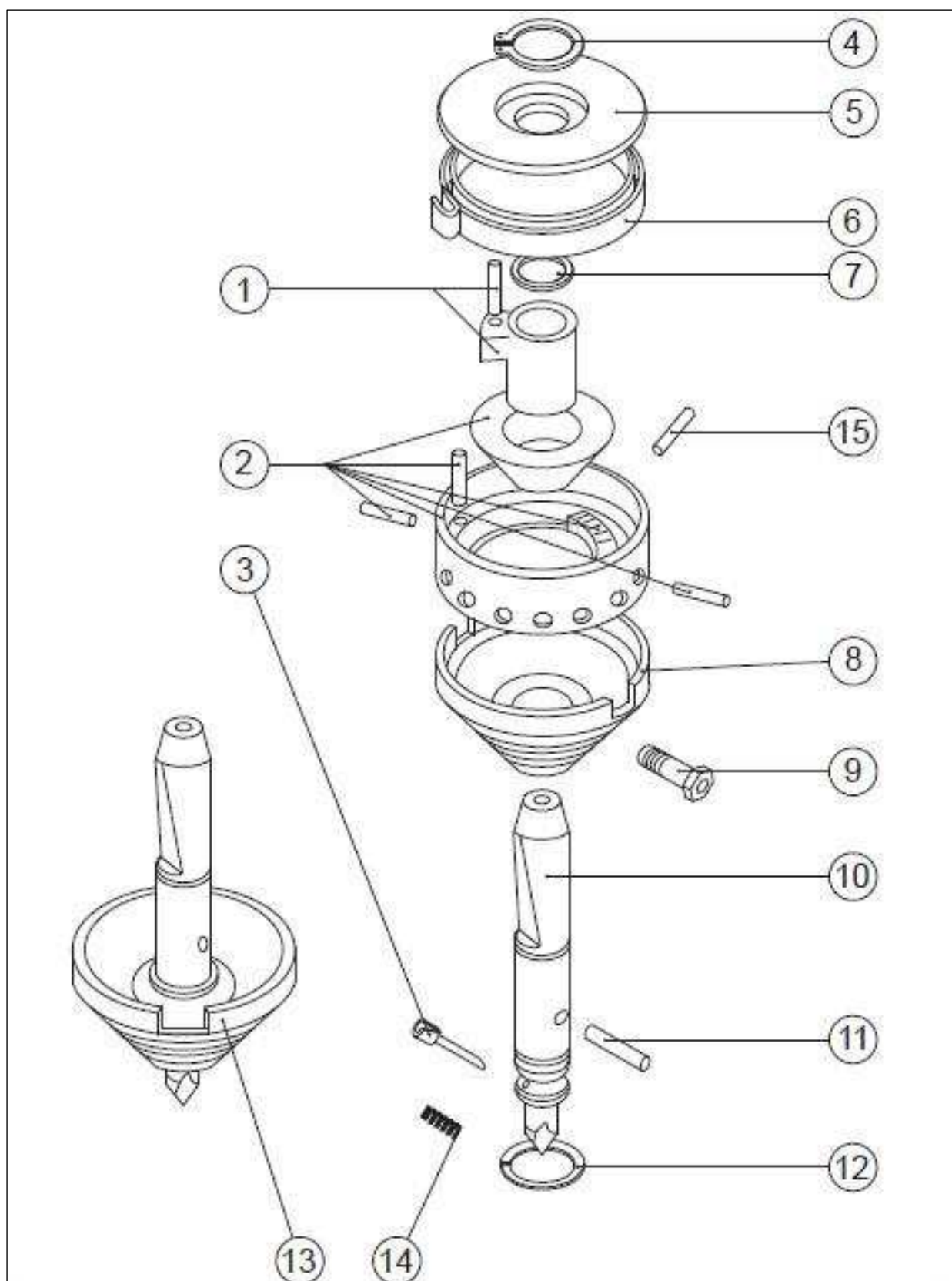
1 bar = 100 kPa



*Obr. 10.1 Stroje T-Drill S-54 [18]*

## 10.2 Vyhrdlovací hlava

Ve strojích S-54 se používají vyhrdlovací hlavy T-DRILL pro zhotovení odboček v trubkách. Konstrukce vyhrdlovací hlavy je patrná z níže uvedeného vyobrazení (obr. 10.2). [19]



Obr. 10.2 Součásti vyhrdlovací hlavy [19]

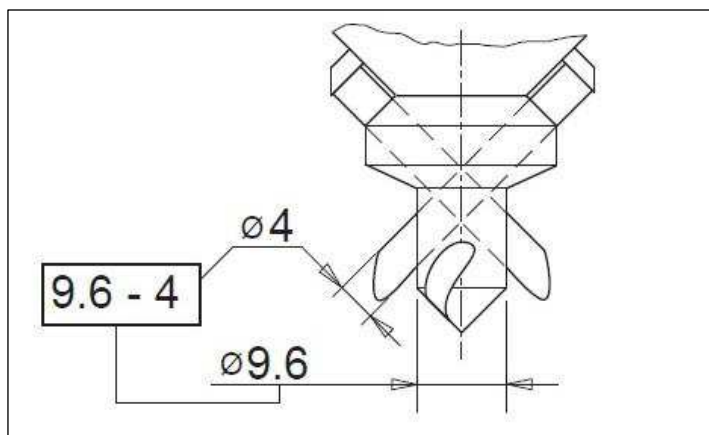
Tab. 10.2 Součásti vyhrdlovací hlavy [19]

Č.	Název dílu
1	Koruna (sestava)
2	Brzdící buben (sestava)
3	Tvarovací prst
4	Pojistný kroužek
5	Krycí deska
6	Pružina
7	Distanční kroužek
8	Regulační kužel
9	Šroub s vnitřním šestihranem
10	Stopka vrtáku
11	Přidržený kolík
12	Pojistný kroužek
13	Těleso hlavy (sestava)*
14	Pružina*
15	Přidržený kolík

\*) je pro menší hlavy

### 10.2.1 Rozlišování vyhrdlovacích hlav

Různé vyhrdlovací hlavy je možné rozlišovat podle níže uvedeného obrázku (obr. 10.3). [19]

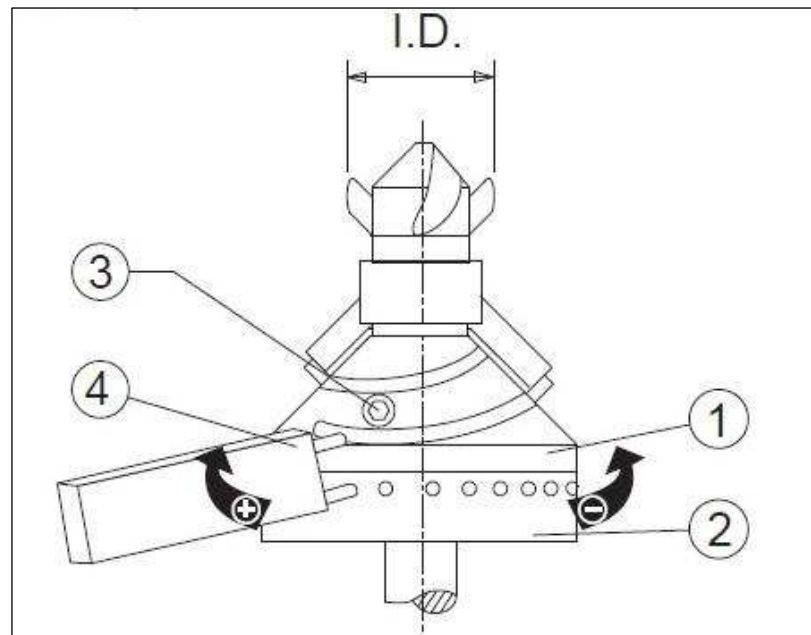


Obr. 10.3 Označování vyhrdlovacích hlav [19]

### 10.2.2 Nastavení vyhrdlovací hlavy

Nastavení vyhrdlovací hlavy je dáno výrobcem ve třech krocích.

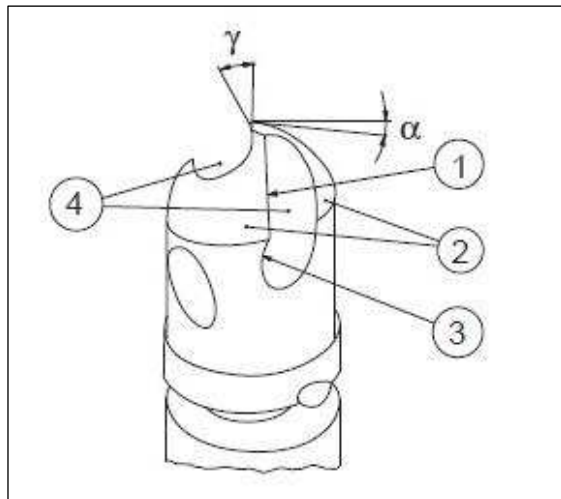
1. Vyznačte stávající nastavení čarou na regulačním kuželu a brzdovém bubnu.
2. Upněte vyhrdlovací hlavu za stopku do svěráku s měkkými čelistmi.
3. Otáčejte kuželem, až jsou tvarovací prsty zcela rozevřené. Změřte nastavení.  
(viz obr. 10.4). [19]



Obr. 10.4 Nastavení vyhrdlovací hlavy: 1. Regulační kužel, 2. Brzdový buben, 3. Blokovací šroub, 4. Seřizovací měrka [19]

### 10.2.3 Broušení vrtáků

Broušení vrtáků vyžaduje speciální odborné znalosti-špatně nabroušené břity vrtáku zhoršují kvalitu vyhrdlení. Patentovaná geometrie řezných hran vrtáků T-DRILL je utvářena tak, aby vytvářela bezvadný otvor bez otřepů při nízké rychlosti posuvu. Hlavní břit je však nutno udržovat vždy ostrý. [19]



Obr. 10.5 Části vrtáku:  $\alpha$ =úhel podbroušení,  $\gamma$ =vrcholový úhel, 1. hlavní břit 2. hřbet, 3. fasetka, 4. šroubovitá drážka [19]

### Kdy je třeba brousit?

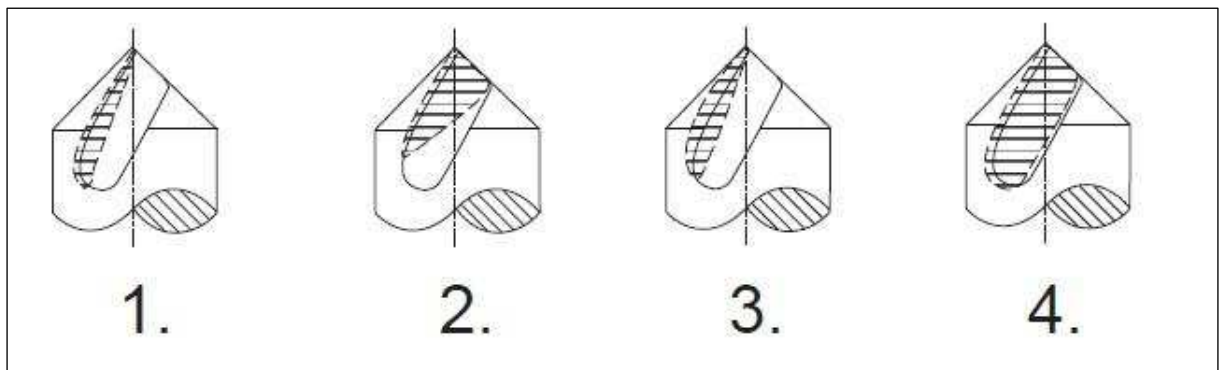
Brousit je třeba, když už vrták neproniká bez námahy do dílce, nebo když se v otvoru začínají tvořit otřepy. (K tvorbě otřepů může docházet také při nedostatečném množství použitého maziva). Používání tupého vrtáku zkracuje značně jeho životnost.

### Co je třeba přebroušovat?

Vrták je třeba brousit vždy jen na fasetkách. Nikdy nebrousit na hřbetu, protože sebemenší změna podbroušení může výrazně omezit vlastnosti vrtáku.

### Broušení

Broušení se provádí tak, že se pohybuje vrtákem sem a tam a otáčí se (kolem své vlastní osy), až je řezná hrana zcela nabroušená. Přitom je nutno se vyvarovat zabarvení vrtáku, protože to by bylo známkou změknutí řezné hrany. [19]



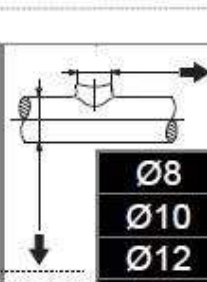
Obr. 10.6 Broušení vrtáku: 1. správně nabroušený 2. hrot příliš přebroušený 3. příliš malý úhel břitu 4. příliš ubroušená hrotová část [19]

#### 10.2.4 Pokyny pro používání tabulek kapacit

Výrobce udává, jak správně vybrat velikost vyhrdlovací hlavy pro daný průměr trubky, který chceme použít. Doporučí vám, jaká tloušťka stěny je vhodná a neměla by se překračovat.

1. Zvolte příslušnou tabulku podle materiálu, který má být vyhrdlován (měď, ocel, korozivzdorná ocel).
2. Můžete použít měrové jednotky podle svého přání: jak metrické tabulky (mm) tak také tabulky s rozměry v palcích (inch).
3. V horním černém řádku zvolte vámi používaný rozměr vyhrdlení a v prvním sloupci průměr vámi používané hlavní trubky.
4. V průsečíku řádku a sloupce naleznete hodnotu největší tloušťky stěny. Tato hodnota se nesmí překročit.
5. Velikost vyhrdlovací hlavy, kterou je třeba použít, naleznete v řádku hned pod horním černým řádkem (podtržená čísla) [19]

**Příklad:** hlavní trubka Ø12, vyhrdlení Ø10:



	Ø6	Ø8	Ø10	Ø12	Ø15
	<u>4.5–2</u>	<u>5.2–2</u>	<u>6.2–3</u>	<u>7.4–3</u>	<u>9.6–4</u>
Ø8	0.5	0.5			
Ø10	0.8	0.8	1.0		
Ø12	0.8	1.0	1.0	1.0	
Ø15	0.8	1.0	1.0	1.0	1.2
Ø18	0.8	1.0	1.0	1.0	1.2
Ø22	0.8	1.0	1.2	1.2	1.5
Ø25	0.8	1.0	1.2	1.2	1.5
Ø28	0.8	1.0	1.2	1.2	1.5
Ø35	0.8	1.0	1.2	1.2	1.5

Použit vyhrdlovací hlavu 6.2-3

Tloušťka stěny 1.0 nebo slabší

Obr. 10.7 Tabulka kapacit [19]



## 11 Testování nástroje

Cílem zkoušení bylo, porovnat současný a modifikovaný vrták pro výrobu vyhrdlení. Jedná se o nástroj, který vytváří průměr díry 6 mm. Testování probíhalo do tří různých tlouštěk trubek. Jednalo se o korozivzdorné trubky. Trubky se silou stěny 0,5 a 1 mm byly z materiálu 1.4541 a trubka se silou stěny 0,2 mm byla z materiálu 1.4828. Tyto rozměry a druhy materiálu jsou nejčastěji využívány firmou Witzenmann Opava spol. s r. o., proto byly zkoušeny.

Modifikovaný vrták se liší od současného, že má upravený průměr řezné části vrtáku. Současný vrták má průměr 4,7 mm a modifikovaný byl upraven na průměr 4,3 mm. To má mít za následek, že proniká menší plochou dovnitř trubky a měl by vytlačit vyšší vyhrdlovací límec. Toto je cílem testování. Zjistit, zda tato úprava pomůže vyrobit požadovaný výsledek nebo se bude potřeba zabývat dalším vývojem. Otáčky vrtání byly  $n = 930 \text{ min}^{-1}$  a otáčky vyhrdlení byly  $n = 630 \text{ min}^{-1}$ .

U zkoušení bylo použito procesní médium Drawlub TD50, jedná se o multifunkční olej vhodný pro tváření. Měření probíhalo standartní digitálním měřidlem.

### **Jaké hodnoty byly zjišťovány?**

Hlavním měřeným rozměrem je průměr díry. Ten je měřen kolmo ke svaru a podél svaru. Firma povoluje toleranci do plusu v hodnotě +0,1 mm. Další hodnotou, která byla zjišťována je vizuální kvalita vyhrdlení. Jedná se o to, zda zůstává vnitřní a vnější otřep, nerovnoměrný tvar vyhrdlení, kruhovitost, zda je propad vyhrdlení dovnitř trubky a jestli je výška vyhrdlení dostatečná dle výkresové dokumentace.

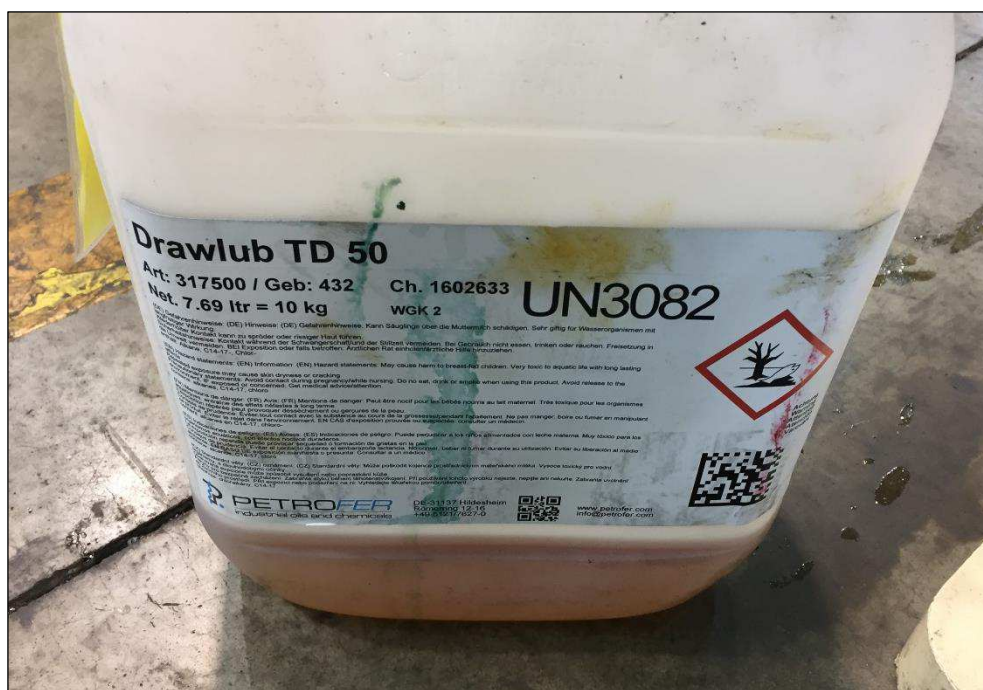
## 11.1 Použité procesní médium

### DRAWLUB TD 50 - Multifunkční olej pro tváření

DRAWLUB TD 50 je středně viskózní olej, obsahující chlór, vodou nemísitelný s chladicí kapalinou pro tváření kovů železných i neželezných. Vyznačuje se vysokou mazací vlastností a má vysokou pevnost filmu. Používá v pevných tvářecích operacích, tj. přímých, nepřímých a příčných operací protlačování. Také má vynikající výkon při lisovacích operacích hlav šroubů, válcování závitů a tažení drátů. Kromě toho DRAWLUB TD 50 se úspěšně používá v přesném stříhání a operací pro hluboké tažení různých kovů a kovových slitin. [20]

### Manipulace a skladování

DRAWLUB TD 50 by neměly být vystaveny extrémním teplotám a má mít okolní teplotu před použitím. Mělo zacházet jako s minerálním olejem. Žádná zvláštní opatření nejsou zapotřebí týkající se manipulace a skladování. Tento produkt obsahuje chlór, proto by neměl být smíchán a vyhazován do běžného odpadu. [20]



Obr. 11.1 Procesní médium [19]

## 11.2 Použité měřidlo

### Digitální posuvné měřidlo MITUTOYO

Rozsah měření 0 mm-150 mm, kalibrace K0030, bez posuvného kolečka, vysoce kvalitní povrchová úprava pro plynulý, stabilní a pohodlný pohyb jezdce, velké číslice (9 mm) pro snadné odečítání hodnot. [21]



Obr. 11.2 Digitální posuvné měřidlo [19]

### 11.3 Trubky ke zkoušení

- 1 - trubka Ø25,1 x 0,2 mm, materiál 1. 4828
- 2 - trubka Ø25,1 x 0,5 mm, materiál 1. 4541
- 3 - trubka Ø25,1 x 1 mm, materiál 1. 4541



Obr. 11.3 Trubky ke zkoušení [19]

Jako zkoušenou součást jsme zvolili trubky o Ø25,1 mm z materiálu 1.4541 a 1.4828. Jedná se o chrom niklovou austenitickou stabilizovanou ocel. Tento průměr trubky a materiál je nejčastěji využíván při výrobě ve firmě Witzenmann Opava spol. s r. o. Součást byla použita ve třech různých silách stěn, a to 0,2; 0,5; a 1 mm. A to proto, jestli má na výsledný tvar vliv síla stěny trubky.

### 11.3.1 Materiál: X8CrNiTi18-10, 1.4541

*Značení materiálu: [23]*

EN 10095	AISI (USA)	JIS (JAPAN)	ČSN
X8CrNiTi18-10	321H	321	17 248

#### Žárovzdornost:

V oxidační atmosféře odolává teplotám do 850°C. V oxidujícím prostředí z přítomnosti sloučenin obsahující síru je horní hranice použitelnosti 750°C. Plyná prostředí redukčního charakteru s obsahem sloučenin síry žárovzdornosti oceli podstatně snižuje. Dobře snáší i atmosféry obsahující dusík i při nízkých obsazích kyslíku.

*Chemické složení tavby v % hmot.: [23]*

C max.	Si	Mn max.	P max.	S max.	Cr	Ni	Ti
0,1	Max. 1,00	2,00	0,045	0,015	17,00- 19,00	9,00- 12,00	$5x\%C \leq Ti \leq 0,80$

#### Technologické vlastnosti

##### Tváření:

Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla: 1100 až 850 °C s následným ochlazením na vzduchu.

Ocel je dobře tvářitelná za studena. Při tváření za studena však dochází ke zpevnění povrchu tvářeného dílu, což platí též o tažení tyčí a drátu.

### **Tepelné zpracování:**

Provádí se rozpouštěcí žíhání v rozmezí teplot 1020 až 1120° C s následným ochlazením na vzduchu nebo do vody.

### **Obrobitelnost:**

Ocel se v porovnání s feritickými žáruvzdornými oceli hůře obrábí. Při nastavení nevhodných parametrů obrábění dochází ke zpevňování povrchu a obrobitelnost se zhoršuje. Důsledkem je nižší životnost nástroje a zhoršení obráběného povrchu. Při obrábění je vhodné zvolit postupy doporučené pro austenitické korozivzdorné oceli.

### **Svařitelnost:**

Ocel je svařitelná všemi obvykle užívanými metodami svařování.

### **Použití:**

Různé součásti zařízení pro tepelné zpracování, součásti kotlů a pecních agregátů (armatury, rošty, dopravníky, závěsy), součásti výměníků tepla a ventilátorů. Tepelně namáhané díly keramických a sklářských pecí, ochranná pouzdra termočlánků, tepelně namáhaný spojovací materiál a další. Oproti feritickým žáruvzdorným ocelím s vyšším obsahem Cr, není ocel X8CrNiTi10-10 náchylná ke křehnutí ani při delší expozici v oblasti kritických teplot. [22, 23, 24]

#### **11.3.2 Materiál: X15CrNiSi20-12, 1.4828**

*Značení materiálu: [25]*

EN 10095	AISI (USA)	JIS (JAPAN)	ČSN
X15CrNiSi20-12	309	SUH309	17 251

### **Žáruvzdornost:**

V oxidační atmosféře odolává teplotám do 950° C. V oxidujícím prostředí za přítomnosti sloučenin obsahujících síru je horní hranice použitelnosti 850° C. V redukčních uhlíkatých zplodinách hoření odolává teplotám do 850° C.

V prostředí redukčního charakteru s obsahem sloučenin síry se žáruvzdornost oceli podstatně snižuje (750° C). Dobře snáší i atmosféry obsahující dusík i při nízkých obsazích kyslíku.

*Chemické složení tavby v % hmot.: [25]*

C max.	Si	Mn max.	P max.	S max.	Cr	Ni	N
0,20	1,50-2,00	2,00	0,045	0,015	19,00-21,00	11,00-13,00	Max. 0,11

### **Technologické vlastnosti**

#### **Tváření:**

Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla: 1150 až 900 °C s následným ochlazením na vzduchu.

Ocel je dobře tvářitelná za studena. Při tváření za studena však dochází ke zpevnění povrchu tvářeného dílu, což platí též o tažení tyčí a drátu. Při větších deformacích za studena se doporučuje následně vyžít.

#### **Tepelné zpracování:**

Provádí se rozpouštěcí žíhání v rozmezí teplot 1050 až 1150° C s následným ochlazením na vzduchu nebo do vody.

#### **Obrobitelnost:**

Ocel se v porovnání s feritickými žáruvzdornými ocelmi hůře obrábí. Při nastavení nevhodných parametrů obrábění dochází ke zpevňování povrchu a obrobitelnost se zhoršuje. Důsledkem je nižší životnost nástroje a zhoršení obráběného povrchu. Při obrábění je vhodné zvolit postupy doporučené pro austenitické korozivzdorné oceli.

#### **Svařitelnost:**

Ocel je svařitelná všemi obvykle užívanými metodami svařování.

#### **Použití:**

Různé součásti zařízení pro tepelné zpracování, součásti kotlů a pecních agregátů (armatury, rošty, dopravníky, závěsy), součásti výměníků tepla a ventilátorů. Tepelně namáhané díly keramických a sklářských pecí, ochranná pouzdra termočlánků, tepelně namáhaný spojovací materiál a další. Oproti feritickým žáruvzdorným ocelím s vyšším obsahem Cr, není ocel X8CrNiTi10-10 náchylná ke křehnutí ani při delší expozici v oblasti kritických teplot. [25, 26, 27]



## 11.4 Stroj

### T-Drill S-54

Detailní popis stroje je v kapitole 10.1, jedná se o vyhrdlovací stroj, který se nejčastěji využívá při výrobě komponent motorových systémů, klimatizací a výfukových systémů.



*Obr. 11.4 Vyhrdlovací stroj S-54 [19]*

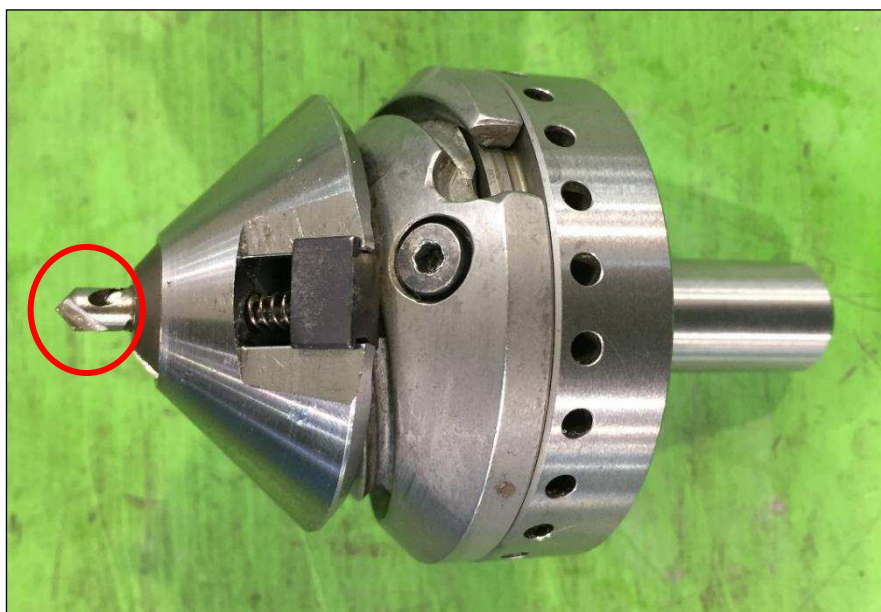
## 11.5 Nástroj

Jedná se o speciální nástroj určený pro tento typ výroby. Má nastavitelný rozsah, ve kterém může vyrobít vyhrdlení. Tento vrták má  $\varnothing 4,7$  mm, se kterým je možno vyrobít průměr vyhrdlení  $6 \div 7,8$  mm.



Obr. 11.5 Současný nástroj [19]

Modifikovaný nástroj, který má zmenšený průměr řezné části. A to na  $\varnothing 4,3$  mm. To má způsobit, že nástroj pronikne menší plochou do trubky a pohybem zpět vytáhnout větší množství materiálu. Což vytvoří vyšší vyhrdlovací límec, který je potřeba na napojení další trubky.



Obr. 11.6 Modifikovaný nástroj, detail – zmenšený průměr na 4,3 mm [19]



## 12 Vyhodnocení zkoušení

Na každé zkoušené trubce bylo odzkoušeno deset měření a z nich vyhodnoceno, zda má modifikovaný vrták lepší výsledky než současný vrták. Hlavním cílem bylo zjistit, zda úprava nástroje pomůže zajistit dostatečnou kvalitu vyhrdlení, která je požadována. Měřená hodnota byl průměr díry, jenž se měří kolmo a podél svaru trubky (viz. obr. 12.1). Tolerance tohoto otvoru je  $+0,1$  mm. Tato tolerance byla dodržena v obou případech měření. Vyhrdlovací nástroje neměl problém vytvořit výsledný otvor v požadované toleranci.

Dalším kritériem, který byl součástí měření byla vizuální kvalita. Do této oblasti patří výška vyhrdlení, vnitřní a vnější otřep, propad vyhrdlení a nerovnoměrný tvar díry. Z výsledků měření vyplynulo, že tato kvalita nebyla dosažena ani modifikací nástroje. Nejdůležitější část je výška vyhrdleného límce, ten je důležitý pro napojení další trubky. Podle výkresové dokumentace je nutná výška 2-3 mm, což zaručí dostatečnou styčnou plochu pro pájení a tím kvalitní spojení. Jelikož nebylo těchto výsledků dosaženo, je nutné stále pracovat na vývoji nástroje pro tento průměr díry nebo se spokojit s větším průměrem díry, který tyto parametry splňuje.

V tabulkách 12.1 a 12.2 jsou rozepsány jednotlivé měření pro danou tloušťku trubky a nástroj. Jak bylo zmíněno výše, nástroj nemá problém vyrobít díry v požadované toleranci, ale má problém vytlačit dostatek materiálu při zpětném pohybu ven z trubky.

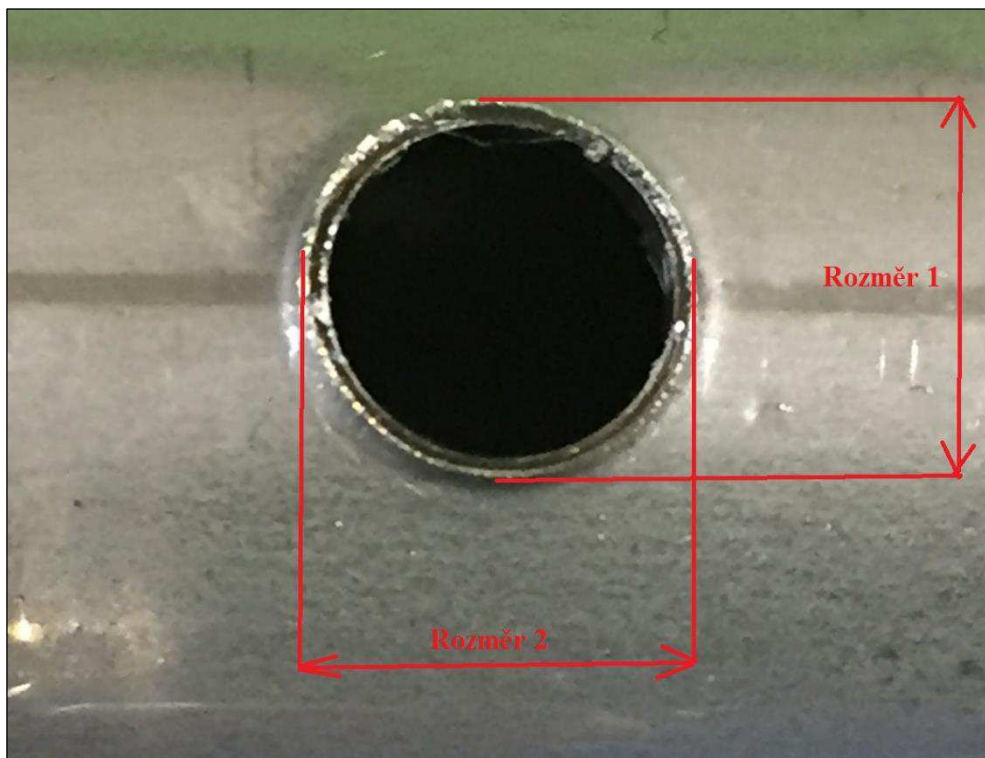
Tab. 12.1 - Nástroj: Ø6 současný

Tloušťka trubky [mm]	Kalibr [mm]	Počet měření [-]									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>0,2</b>	Rozměr 1	6,0	6,03	6,01	6,09	6,08	6,08	6,05	6,03	6,0	6,1
	Rozměr 2	6,01	6,0	6,03	6,0	6,03	6,02	6,05	6,01	6,1	6,08
<b>0,5</b>	Rozměr 1	6,1	6,1	6,09	6,1	6,1	6,08	6,1	6,09	6,09	6,09
	Rozměr 2	6,1	6,06	6,07	6,06	6,05	6,1	6,09	6,07	6,08	6,07
<b>1</b>	Rozměr 1	6,01	6,0	6,0	6,02	6,0	6,0	6,07	6,03	6,01	6,05
	Rozměr 2	6,02	6,0	6,01	6,05	6,04	6,01	6,08	6,05	6,04	6,04

Tab. 12.2 - Nástroj: Ø6 modifikovaný

Tloušťka trubky [mm]	Kalibr [mm]	Počet měření [-]									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>0,2</b>	Rozměr 1	6,1	6,07	6,1	6,08	6,1	6,08	6,1	6,1	6,09	6,07
	Rozměr 2	6,06	6,05	6,04	6,01	6,01	6,01	6,01	6,02	6,03	6,01
<b>0,5</b>	Rozměr 1	6,05	6,05	6,03	6,02	6,05	6,05	6,05	6,07	6,08	6,08
	Rozměr 2	6,07	6,06	6,04	6,01	6,06	6,07	6,07	6,09	6,06	6,07
<b>1</b>	Rozměr 1	6,09	6,01	6,08	6,09	6,08	6,06	6,05	6,05	6,08	6,08
	Rozměr 2	6,03	6,07	6,0	6,02	6,01	6,09	6,0	6,07	6,03	6,0

Na obrázku 12.1 je vidět, jak je měřen průměr díry po vyhrdlení. Jde o dva rozměry, které se měří. Jeden se měří kolmo ke svaru trubky (rozměr 1) a druhý podél svaru trubky (rozměr 2). Tato měření se ve výrobě provádí ve firmě pomocí dílenského kalibru.



*Obr. 12.1 Ukázka měřených rozměrů [19]*

Na obr. 12.2, 12.3 vidíme pokus o vyrobení vyhrdlení současným vrtákem do trubky o síle stěny 0,2 mm. Jde vidět, že nevznikl žádný vyhrdlený límec na vnější straně trubky. Také bylo zjištěno poničení vnějšího tvaru trubky (propad trubky) při najetí do trubky, což je nežádoucí. Bylo to dáno silou stěny trubky, která je velice malá. Jediné, co bylo splněno, byly dodrženy rozměry díry, které byly v dané toleranci. Jednoznačným výsledkem tohoto pokusu bylo, že za těchto podmínek není možné vyrobít vyhrdlení požadované kvality.



*Obr. 12.2 Síla stěny 0,2 mm, současný nástroj [19]*



*Obr. 12.3 Síla stěny 0,2 mm, současný nástroj [19]*

Na obr. 12.4, 12.5 vidíme pokus, při kterém byl použit modifikovaný vrták na výrobu vyhrdlení. Síla trubky je 0,2 mm. Výsledek je jednoznačně lepší než u současného vrtáku. Je vidět náznak tvorby vyhrdleného límce, který není dostatečný pro následné napojení pájením. Vyhrdlení bylo bez vnitřních i vnějších otřepů. Opět splnění rozměrů díry v dané toleranci. Tento výsledek, také není použitelný pro výrobu. Pro dosažení použitelnosti ve výrobě musí probíhat další testování.



*Obr. 12.4 Síla stěny 0,2 mm, modifikovaný nástroj [19]*



*Obr. 12.5 Síla stěny 0,2 mm, modifikovaný nástroj [19]*



Obr. 12.6, 12.7 na těchto obrázcích vidíme výsledek, kde je použit současný vrták. Je použita trubka o síle stěny 0,5 mm. Jde vidět, že vznikl malý vyhrdlený límec, ale který nesplňuje výrobní podmínky. Ale můžeme vidět jednoznačné zlepšení oproti trubce se silou stěny 0,2 mm. Z toho vyplývá, že síla stěny trubky má vliv na výšku vyhrdlení. Vyhrdlení má zkosení a vnitřní otřep. Díra je vyrobena v toleranci.

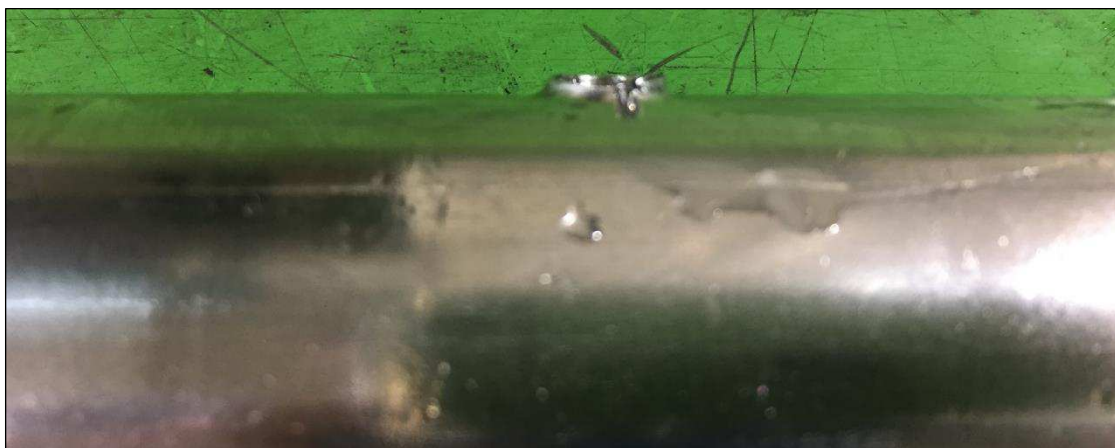


*Obr. 12.6 Síla stěny 0,5 mm, současný nástroj [19]*



*Obr. 12.7 Síla stěny 0,5 mm, současný nástroj [19]*

Obr. 12.8, 12.9 je vidět vyhrdlení z trubky o síle stěny 0,5 mm a je vyrobené modifikovaným vrtákem. Na této trubce je viditelné zlepšení ve výšce vyhrdleného límce než u vyrobeného současným vrtákem. Výsledek je bez zkosení, díra je kruhová, ale má vnější otřep. Vnější není problém, jelikož jde snadno odstranit, jak ručně nebo následným oplachem. Díra je vyrobena v požadované toleranci. Opět není splněna dostatečná výška vyhrdlení, která je požadovaná na výkresové dokumentaci. U tohoto spoje je požadovaná výška 2-3 mm, která zaručí kvalitní spoj, který vydrží požadované zatížení.

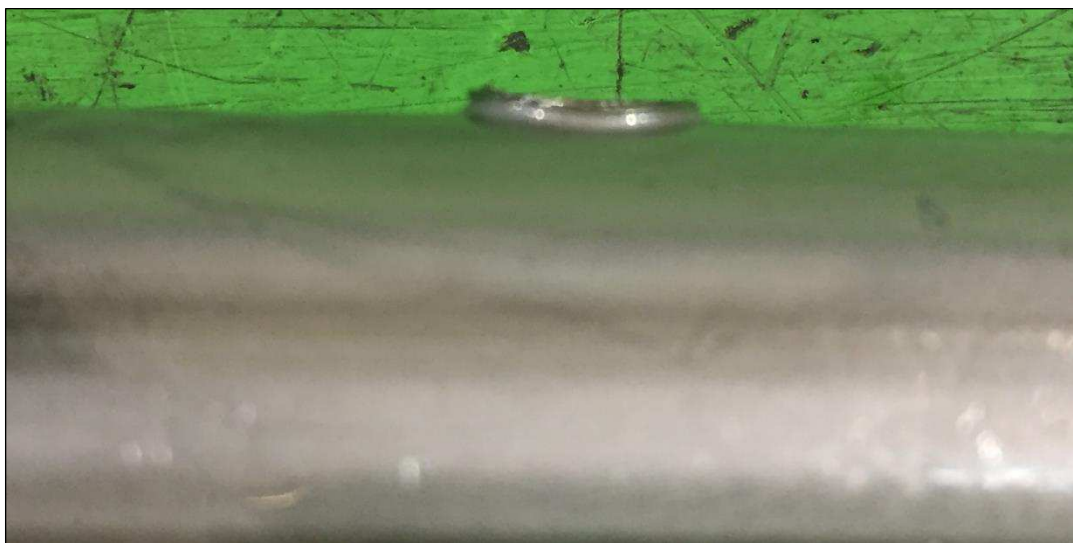


*Obr. 12.8 Síla stěny 0,5 mm, modifikovaný nástroj [19]*



*Obr. 12.9 Síla stěny 0,5 mm, modifikovaný nástroj [19]*

Obr. 12.10, 12.11 ukazuje vyhrdlení u trubky o síle stěny 1 mm vyrobené současným vrtákem. Když je to dvojnásobně silnější materiál než předešlý zkoušený, čekalo daleko vyšší vyhrdlení. Může to být dané tím, že tato tloušťka stěny je na hranici maxima, která je povolena výrobcem stroje. Vyhrdlení je srovnatelné výškově, jaké bylo dosaženo u trubky se silou stěny 0,5 mm. Vyhrdlení má nerovnoměrný tvar, vnější otřep a ostřejší hrany. Díra je opět vyrobena v požadované toleranci. Toto vyhrdlení není možné využít ve výrobě.



*Obr. 12.10 Síla stěny 1 mm, současný nástroj [19]*



*Obr. 12.11 Síla stěny 1 mm, současný nástroj [19]*



Obr. 12.12, 12.13 je ukázka vyhrdlení vyrobeného modifikovaným vrtákem a síle stěny 1 mm. Jde vidět zlepšení než u předešlého vyhrdlení vyrobeného současným vrtákem. Vyhrdlení je vyšší, má rovnoměrný tvar, díra má kruhový tvar, vnitřní i vnější otřep. Rozměrově díra vyrobena v požadované toleranci. Ani úprava vrtáku nepomohla u díry o  $\varnothing 6$  mm zajistit, aby vyhrdlení mělo dostatečnou kvalitu, která je potřebná pro další zpracování. Výška není dostačující, aby mohla zajistit bezpečné spojení s navazující trubicí.



*Obr. 12.12 Síla stěny 1 mm, modifikovaný nástroj [19]*



*Obr. 12.13 Síla stěny 1 mm, modifikovaný nástroj [19]*

## 13 Závěr

Účelem této diplomové práce bylo seznámit se s výrobou vyhrdlení metodou T-Drill a porovnat vrtací nástroje při výrobě vyhrdlení o průměru díry šest milimetrů. Cílem bylo porovnat současný nástroj s modifikovaným, zda bude mít lepší výsledky ve výrobě vyhrdlení. Zkoušení probíhalo v prostorách firmy Witzenmann Opava spol. s r. o. Tato firma se zabývá výrobou korozivzdorných vlnovců, ale také nabízí širokou paletu výrobků pro individuální požadavky zákazníků.

Začátek práce se zabývá popisem, co je to metoda vyhrdlení. Jedná se o napojování trubek z průběžné trubky na jedno upnutí. Je popsáno, že nejdůležitějším kritériem je výška vyhrdleného límce. Ta je důležitá pro další napojení, jelikož je potřebná dostatečná styková plocha. Následně je popsáno, v kterých oblastech průmyslu je možné využít tuto metodu výroby. Jsou uvedeny výhody, které metoda T-Drill nabízí a jaké materiály jsou vhodné pro tento typ výroby. Také je popsán postup výroby v jednotlivých krocích.

V práci jsou uvedeny alternativy k výrobě vyhrdlení. Jedná se o fitinky, sedlové spoje, spoje pomocí vrtaných nebo děrovaných děr. Tyto spoje jsou porovnány s metodou T-Drill a uvedeny jednotlivé výhody a nevýhody. V další části práce jsou popsán výrobní stroj T-Drill S-54, který byl použit při výrobě vyhrdlení. Také je popsán vyhrdlovací nástroj, jeho části a jak probíhá nastavení a broušení takového typu nástroje.

Závěr práce se zabývá vyhodnocením zkoušení současného a modifikovaného vrtáku. Jsou zde rozebrány jednotlivé parametry, podle kterých se určuje, zda je vyhrdlení vhodné pro napojení další větve. Mezi tyto parametry patří hlavně výška vyhrdleného límce, otřepy a průměr díry vyrobený v toleranci. Jednoznačným výsledkem měření je, že je dále nutné pracovat na vývoji vrtáku pro výrobu vyhrdlení. Měření ukázalo, že nástroj vyrobí díry v dané toleranci, ale nevytvoří dostatečně vysoký vyhrdlený límec, který je požadován výkresovou dokumentací.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval panu Ing. Jakubovi Minarčíkovi z firmy Witzenmann Opava spol. s r. o., který mi poskytl potřebné informace pro vypracování diplomové práce. Také bych chtěl poděkovat mé rodině, jenž mě podporovala při mém studiu na vysoké škole.

Děkuji také svému vedoucímu diplomové práce prof. Dr. Ing. Josefu Brychtovi z katedry obrábění, montáže a strojírenské metrologie VŠB – TU Ostrava za poskytnutí konzultací a cenných rad nejen k vypracování této práce.

## 14 Seznam použitých zdrojů

- [1] *T-Drill* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <http://t-drill.fi>
- [2] *Esitteemme* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <http://www.esitteemme.fi/t-drill/webview/#/0/>
- [3] *T-Drill Automotive* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <http://t-drill.fi/sectors/automotive-industry/>
- [4] *T-Drill Collaring* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <http://t-drill.fi/technologies/collaring/>
- [5] Interní materiály firmy MT-MONT s.r.o.
- [6] *Fuel air spark* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <http://www.fuelairspark.com/media/catalog/product/cache/9/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/1/4/146021-kit-web.jpg>
- [7] *Hyline sales* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <http://hylinesales.com/wp-content/uploads/2012/10/T-Drill.jpg>
- [8] *Witzenmann Opava* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: [http://www.witzenmann.cz/cs/profil/witzenmann\\_opava.jsp](http://www.witzenmann.cz/cs/profil/witzenmann_opava.jsp)
- [9] *Witzenmann Opava* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: [http://www.witzenmann.cz/cs/media/Image\\_Opava\\_8110cz\\_1\\_09\\_13\\_5.pdf](http://www.witzenmann.cz/cs/media/Image_Opava_8110cz_1_09_13_5.pdf)
- [10] *Witzenmann Opava* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: [http://www.witzenmann.cz/cs/media/Unternehmensprofil\\_0100cz\\_10\\_06\\_15\\_1.pdf](http://www.witzenmann.cz/cs/media/Unternehmensprofil_0100cz_10_06_15_1.pdf)
- [11] *Wikimedia Witzenmann* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/29/Fahrzeugteile\\_Witzenmann.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/29/Fahrzeugteile_Witzenmann.jpg)
- [12] *Technologie I.* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-2cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf)
- [13] *Technologie II.* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/07.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm)
- [14] *Tubenet* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: [http://www.tubenet.org.uk/technical/profusion3\\_m.html](http://www.tubenet.org.uk/technical/profusion3_m.html)
- [15] *Polysoude* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: [http://www.polysoude.com/images/stories/documents/english/NEWS/Handbook\\_orbital\\_welding\\_EN.pdf](http://www.polysoude.com/images/stories/documents/english/NEWS/Handbook_orbital_welding_EN.pdf)

- [16] *Arc machines* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z:  
<http://www.arcmachines.com/sites/default/files/images/cbers02.jpg>
- [17] *Tubenet* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z:  
[http://www.tubenet.org.uk/technical/bill1\\_m.html](http://www.tubenet.org.uk/technical/bill1_m.html)
- [18] *Aushalsen* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: [http://www.aushalsen.de/t-drill/images/S-54\\_200pix\\_4j5d8hj0.jpg](http://www.aushalsen.de/t-drill/images/S-54_200pix_4j5d8hj0.jpg)
- [19] Interní materiály firmy Witzenmann Opava spol.s.r.o.
- [20] *Imachem* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z:  
<http://www.imachem.com/en/product/9/drawlub-td-50.html>
- [21] *Mitutoyo-eshop* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <http://www.mitutoyo-eshop.cz/index.php/meridla-mitutoyo2014-11-06-08-05-48264238553/dutinomery2014-11-06-08-05-48926131045/dvoudotekove2014-11-06-08-05-481828360758/digitalni-posuvne-meritko-0-150-mm-bez-vystupu-dat-nahrada-za-500-181-20-detail>
- [22] *Inox* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <http://inoxspol.cz/nerezova-ocel-14541.html>
- [23] *Bolzano* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: [http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-zaruvzdornych/materialove-listy/x8crniti18-10-austeniticke?searched=1.4878&advsearch=oneword&highlight=ajaxSearch\\_highlight+ajaxSearch\\_highlight1](http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-zaruvzdornych/materialove-listy/x8crniti18-10-austeniticke?searched=1.4878&advsearch=oneword&highlight=ajaxSearch_highlight+ajaxSearch_highlight1)
- [24] *Alfun* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/korozivzdorna-ocel-nerez>
- [25] *Bolzano* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-zaruvzdornych/materialove-listy/x15crnisi20-12-austeniticke>
- [26] *Prodej nerezů* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <http://www.prodej-nerezu.cz/index.php?act=a&cat=4&art=10>
- [27] *Alfun* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/korozivzdorna-ocel-nerez>
- [28] Trubka chladicí kapaliny. *Sbazar.cz* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z:  
<https://img.sbazar.cz/big/201702/1822/44/58a8cbbf448f90edf7970000.jpg>